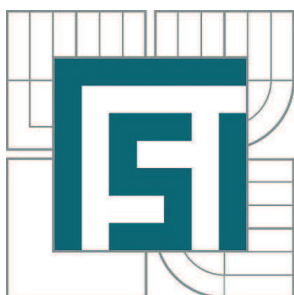


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

NÁVRH SNÍMACÍHO PORTÁLU PRO SNÍMÁNÍ 3D OBRAZU

DESIGN OF AN EXPERIMENTAL STAND FOR THREE-DIMENSIONAL IMAGE ACQUISITION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUKÁŠ MUŽNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KUBELA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Lukáš Mužný

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh snímacího portálu pro snímání 3D obrazu

v anglickém jazyce:

Design of an experimental stand for three-dimensional image acquisition

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem je konstrukčně navrhnout zařízení, které bude schopné snímat trojrozměrná data libovolného objektu přiměřené velikosti. Tyto data budou dále využitelná pro robotické aplikace přesného uchopení původně neorientovaného dílu. Princip zařízení bude založen na laserové triangulaci.

Snímací zařízení bude experimentálního charakteru s dostatečným počtem nastavitelných prvků.

Cíle diplomové práce:

1. Návrh experimentální pracoviště pro snímání 3D obrazu.
2. Navrh snímacího zařízení, které bude vybaveno liniovým laserem a dostupným kamerovým systémem.
3. Návrh nezbytných konstrukčních prvků.
4. Návrh řízení pracoviště pomocí PLC Beckhoff.
5. Ověření funkce celého zařízení.

Seznam odborné literatury:

1. NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
2. Firemní literatura firmy SICK - produkt Ranger

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Kubela

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 8.12.2011

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bc. Lukáš Mužný

Návrh snímacího portálu pro 3D snímání

Diplomová práce, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2012.

Diplomová práce se zabývá možnostmi 3D vidění. Teoretická část popisuje principy strojového vidění, představuje jeho základní prvky, popis fungování a metody měření 3D obrazu. Praktická část je zaměřena na návrh experimentálního pracoviště, které je sestaveno z pásového dopravníku, snímacího portálu, průmyslového robotu a řídicího PLC. Systém slouží k rozpoznání a uchopení neorientovaných objektů. Konstrukční část je zaměřena na úpravu pásového dopravníku pro potřeby aplikace a návrhu snímacího portálu s lineární osou, který je vybaven kamerou a lasery. Dále je řešena komunikační síť mezi jednotlivými prvky pracoviště, obsahuje návrh jejich komunikace s popisem způsobu řízení jednotlivých prvků.

Klíčová slova:

průmyslové vidění, inteligentní kamera, 3D vidění, lineární osa

Abstract

Bc. Lukáš Mužný

Design of an experimental stand for three-dimensional image acquisition

Master's thesis, Institute of Production Machines, Systems and Robotics, 2010.

This thesis deals with the possibilities of 3D vision. The theoretical part describes the principles of machine vision, constitutes the basic elements, description and the methods of measurement and 3D. The practical part is focused on the design of experimental workplace, which consists of conveyor, experimental stand, industrial robot and PLC control. The system used to recognize and grasp objects undirected. Construction chapter focuses on the treatment needs of the conveyor for sensing applications and design of experimental stand with linear axis, which is equipped with camera and lasers. Furthermore solved by a communication network between the elements of work includes the design of their communications with the description of the control of its individual elements.

Key words

Machine vision, smart camera, 3D image, linear actuator

Bibliografická citace:

MUŽNÝ, L. Návrh snímacího portálu pro snímání 3D obrazu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Tomáše Kubely a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne

.....

Podpis

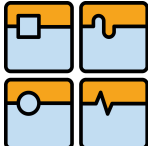
Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Tomáši Kubelovi za věnovaný čas a cenné rady při vypracování této diplomové práce. Dále rodině za podpor během celého studia.

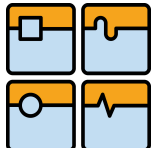
Obsah

1 Úvod.....	14
2 Návrh koncepce řešení	15
2.1 Vymezení požadavků na konstrukci	15
2.2 Použitý software	15
3 Strojové vidění	16
3.1 Vývoj strojního vidění.....	16
3.2 Důvody zavádění strojního vidění.....	16
3.3 Aplikace systému strojového vidění.....	17
3.4 Princip strojového vidění.....	17
3.5 Druhy systémů pro 3D strojové vidění	18
3.5.1 Kamerové senzory	18
3.5.2 Inteligentní kamery	19
3.5.3 PC systémy.....	19
3.5.4 Zákaznické systémy.....	20
3.6 Snímače obrazu	20
3.6.1 CCD (Charge-Coupled Device).....	20
3.6.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).....	22
3.7 Principy měření vzdálenosti.....	22
3.7.1 Triangulace	23
3.7.2 TOF – Měření doby letu modulovaného světla	24
3.7.3 Optická interferometrie.....	24
3.8 Osvětlení ve strojovém vidění.....	25
3.8.1 Laserová dioda	26
3.9 Průběh tvorby 3D modelu	26
4 Návrh experimentálního pracoviště.....	28
4.1 Popis funkce pracoviště.....	28
4.2 Koncepce pracoviště	28
4.3 Návrh snímacího portálu.....	29
4.4 Volba snímacích prvků portálu	30
4.4.1 Smart kamera	30
4.4.2 Laser	31
5 Návrh Konstrukčních prvků portálu	32
5.1 Pásový dopravník	32
5.1.1 Výběr inkrementálního snímače.....	32

5.1.2 Volba spojky.....	33
5.1.3 Konstrukce hnacího hřídele	34
5.1.4 Montáž inkrementálního snímače	34
5.2 RÁM	35
5.2.1 Stanovení výšky ránu.....	36
5.2.2 Konstrukce rámu.....	38
5.3 Snímací hlavy	39
5.3.1 Natáčení snímacích prvků	39
5.3.2 Posuv snímacích prvků	40
5.3.3 Odměřování posuvu a natočení laserů a kamery.....	41
5.4 Lineární osa.....	41
5.4.1 Možnosti konstrukce lineární jednotky	41
5.4.2 Konstrukce lineární osy.....	42
5.4.3 Volba řemenu a řemenice	42
5.4.4 Vedení lineární posuvové osy	43
5.4.5 Napínání řemenu	44
5.4.6 Inkrementální snímač.....	45
5.4.7 Sestava lineární osy.....	46
5.5 Sestava snímacího portálu s pásovým dopravníkem	47
6 Metodika 3D snímání	48
6.1 Příprava měření.....	48
6.2 Fáze snímání.....	48
6.2.1 Kalibrace	48
6.2.2 Měření.....	48
6.2.3 Skládání snímků a vyhodnocení	48
7 Návrh řízení experimentálního pracoviště.....	49
7.1 Koncepce komunikační sítě.....	49
7.2 Koncepce programu PLC	50
7.3 Koncepce programu kamery	51
7.4 Koncepce programu robotu KUKA KR3	52
8 Cenová kalkulace.....	54
9 Závěr.....	56
Seznam použité literatury.....	57
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	60
Seznam obrázků	61
Seznam tabulek	61

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam příloh	62
Seznam tištěných příloh	62
Seznam elektornických příloh	62

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

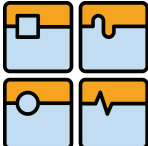
1 Úvod

Současné trendy v průmyslové výrobě směřují k větší automatizaci celého výrobního procesu. Průmyslové roboty a manipulátory se staly nedílnou součástí strojírenské výroby (manipulace, svařování, montáž, atd.). Jsou přesné, rychlé a jejich uplatnění lze nalézt při nahrazení práce člověka v činnostech, které jsou nebezpečné, stereotypní nebo fyzicky namáhavé. Nevýhodou průmyslových robotů ovšem je, že nejsou schopny rozpoznávat objekty ve svém pracovním prostoru. Proto čím dál častěji dochází k zavádění strojového vidění do výrobního procesu. Pomocí vizuální zpětné vazby jsou tak průmyslové roboty schopny provádět úkoly, které byly doposud příliš složité.

Uchopení neorientovaných objektů průmyslovým robote s pomocí jejich snímání smart kamerou je dnes již standardní aplikací. Většinou se pro vyhodnocení potřebných dat používá dvourozměrného obrazu objektu (2D snímání), kdy je porovnávána jejich pozice a natočení na základě předem definovaných parametrů. V průmyslové výrobě smart kamera provádí kromě této úkonu zároveň i kontrolu kvality daného snímaného výrobku. V případech, kdy je požadováno uchopení a kontrola kvality nebo jiná revizní činnost tvarově složitějšího objektu, nemusí být 2D obrazová informace pro takové účely dostačující. Tento nedostatek lze odstranit buď složitou spoluprací více smart kamer pro 2D snímání nebo jejich nahrazení jedinou 3D smart kamerou, která je o objektu schopna podat celistvé informace v podobě 3D modelu. Pro průmyslovou praxi jsou dodávány kromě samostatných smart kamer s lasery i celé systémy 3D strojového vidění, které jsou však většinou drahé a množství aplikací, ve kterých jsou použitelné, je značně omezená (např. 3D skenery). V důsledku této skutečnosti bylo přistoupeno k návrhu takového systému 3D snímání objektů, který by byl zároveň cenově přijatelný a přitom nabízel dostatečnou škálu možných aplikací využitelných v průmyslové praxi i experimentální činnosti.

Cílem této diplomové práce (dále DP) je seznámit se s možnostmi a způsoby snímání 3D obrazu v průmyslových aplikacích. Praktická část diplomové práce spočívá v návrhu experimentálního pracoviště, které bude umožňovat snímání 3D obrazu. Součástí tohoto pracoviště by měl být snímací portál, který musí splňovat podmínku začlenění do stávajícího robotického pracoviště v laboratoři Ústavu výrobních strojů a systému (dále ÚVSSR). Samotné snímání založené na metodě laserové triangulace bude zajišťovat smart kamera s dvojicí liniových laserů. Přičemž je uvažováno s dvěma variantami snímání předmětu – snímací hlava bude staticky zajištěna a snímaný objekt se bude pohybovat na pásovém dopravníku, popřípadě bude předmět snímán pomocí pohybu kamery a laserů po lineární ose portálu. Pro tuto praktickou část bude vytvořen 3D model portálu s jednotlivými výrobními výkresy součástí, které bude nutno zhotovit. Dále bude zapotřebí navrhnout způsob řízení portálu.

V následující kapitole je popsán koncept řešení DP. Ve třetí kapitole je proveden teoretický rozbor 3D snímání. V další kapitole je pak řešen návrh celého pracoviště a jeho konstrukčních uzlů, pátá kapitola se věnuje konstrukci portálu. Poté je nastíněna metodika 3D snímání a způsob řízení celého pracoviště. Na závěr je provedena orientační kalkulace celého portálu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2 Návrh koncepce řešení

Před samotným vypracováním DP je zapotřebí stanovit postup činností nezbytných pro úspěšné řešení návrhu snímacího portálu:

a) Nejprve je třeba seznámit se s danou problematikou. Tzn. nastudovat dostupnou literaturu zabývající se nejenom možnostmi a způsoby 3D strojového vidění a snímání, ale také jednotlivými snímacími prvky a principy. Dále pak na toto téma zpracovat rešerši.

b) Na základě získaných poznatků z rešeršní části bude navrženo uspořádání experimentálního pracoviště a nastíněno konstrukční řešení snímacího portálu. Také budou vybrány základní snímací prvky.

c) Pro jednotlivé konstrukční uzly portálu bude vytvořeno několik konceptů tak, aby splňovaly všechny uvedené požadavky. Po pečlivém zvážení všech pozitiv i negativ jednotlivých konceptů, bude vybrána nejvhodnější varianta. Ostatní uvažované varianty budou v textu krátce zmíněny a bude zdůvodněno jejich nepoužití ve finálním řešení.

c) Nejvhodnější řešení bude za pomoci vhodného CAD softwaru zpracováno do digitální podoby.

d) Poté bude proveden návrh řídicího systému pomocí PLC Beckhoff a na závěr bude vytvořena výkresová dokumentace hlavních konstrukčních uzlů.

Po celou dobu vypracování je třeba dbát na zřetel omezení jednotlivých prvků systému, softwaru a okolního prostředí.

2.1 Vymezení požadavků na konstrukci

Po zvážení všech aspektů zadání byly stanoveny tyto dílčí cíle a požadavky na konstrukci snímacího portálu:

- minimalizace výrobních nákladů,
- jednoduchost konstrukce,
- snadná manipulace, montáž i demontáž,
- minimalizace hmotnosti,
- velmi nízké nároky na údržbu,
- bezpečný provoz zařízení.

2.2 Použitý software

Pro tvorbu 3D modelů a jejich sestav je v této práci použit Autodesk Inventor 2011. Z tohoto programu je také generována většina obrázků v této práci. Následná výkresová dokumentace je s ohledem na dodržení všech ISO norem zpracována v programu Autodesk AutoCAD 2011. Výpočtová a metodická část návrhu byla pro zjednodušení realizována v softwaru MathCAD 12. Textová část je zpracována v textovém editoru Microsoft Word 2007.

3 Strojové vidění

V této kapitole je popsáno strojové vidění jako součást výrobního procesu, důvody jeho zavádění a možnosti aplikací. Další část se věnuje typům systémů strojového vidění, snímačům obrazu, způsobům snímání 3D obrazu a nezbytnou součástí snímání, kterou je osvětlení.

3.1 Vývoj strojího vidění

Počátek strojového vidění spadá do 70. let minulého století. V této době byla již počítačová technika na takové úrovni, kdy byla schopna zpracovávat velký objem dat, kterými obrazové informace jsou. Vznikl tak zcela nový obor - počítačové vidění. Počítačovým viděním lze zpracovat takřka cokoli – objekty, lidskou činnost, pohyb nebo výrobní proces. V průmyslové výrobě se pro počítačové vidění používá termín strojové vidění [1].

V 80. letech dochází k prvním pokusům využít jej jako nástroje k automatizaci v průmyslu. Tyto systémy však byly značně nákladné a uživatelé byly negativně vnímány jako zbytečně náročné ohledně programování, instalace a údržby. Dodávaná řešení se v té době ukázala jako příliš nepřesná, nespolehlivá, nepružná a pomalá [2]. Někdy v polovině 80. let proto dochází k vývoji inteligentních (nebo také smart) kamer, které měly odstranit právě tyto nedostatky původních řešení a měly se přiblížit běžným senzorům a stát se kompaktním zařízením pro zpracování úloh strojového vidění. [3]

Velký rozmach tohoto odvětví spadá do posledních deseti let, kdy konečně došlo k prolomení předsudků vůči strojímu vidění, který přetrvával z 80. let. Všeobecně rychlý vývoj techniky totiž dospěl k výkonným a provozně použitelným systémům strojího vidění, kde jsou například drahé a rozměrné systémy nebo několik druhů snímacích senzorů nahrazeno smart kamerou. I přes globální ekonomické problémy posledních let se trh se systémy strojího vidění nadále rozvíjí. [2], [3]

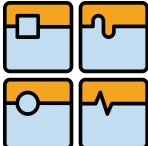
3.2 Důvody zavádění strojího vidění

V současnosti, kdy je kladen velký důraz na konkurenceschopnost u výrobních podniků, kterou lze dosáhnout buďto snižováním nákladů nebo zvyšováním kvality, a za standard je považován systém včasných dodávek v totální kvalitě, se stále více firem zaměřuje na prostředky, které by jim mohly zajistit totální kontrolu celé jejich produkce. [4]

Na tuto poptávku mohli dodavatelé odpovědět také díky rozvoji komerčních technologií, zejména pak digitálních fotoaparátů, kdy začaly být k dispozici levné kvalitní čipy pro snímání obrazu.

Výhody strojového vidění:

- *Rychlost* – sejmутí obrazu je rychlejší než měřením kalibry a měřidly,
- *Přesnost a spolehlivost* – vylučuje lidský faktor a se všemi jeho nedostatky,
- *Ekonomičnost* – pořizovací náklady a náklady na provoz jsou daleko menší než je tomu v případě manuální kontroly,
- *Univerzálnost* – umožňuje na jedno sejmутí obrazu provádět více kontrol a měření najednou,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- *Bezdotykovost a neinvazivnost* – pro kontrolu není třeba upravit výrobní zařízení,
- *Automatizace* – systém strojního vidění lze přímo spojit s řídicím systémem výrobního procesu,
- *Flexibilita* – úprava systému pro podobné součásti spočívá jen ve změně vyhodnocovacího softwaru. [4]

3.3 Aplikace systému strojového vidění

Strojové vidění je jako součást průmyslové automatizace ve výrobním procesu zaměřena na tyto typické úlohy:

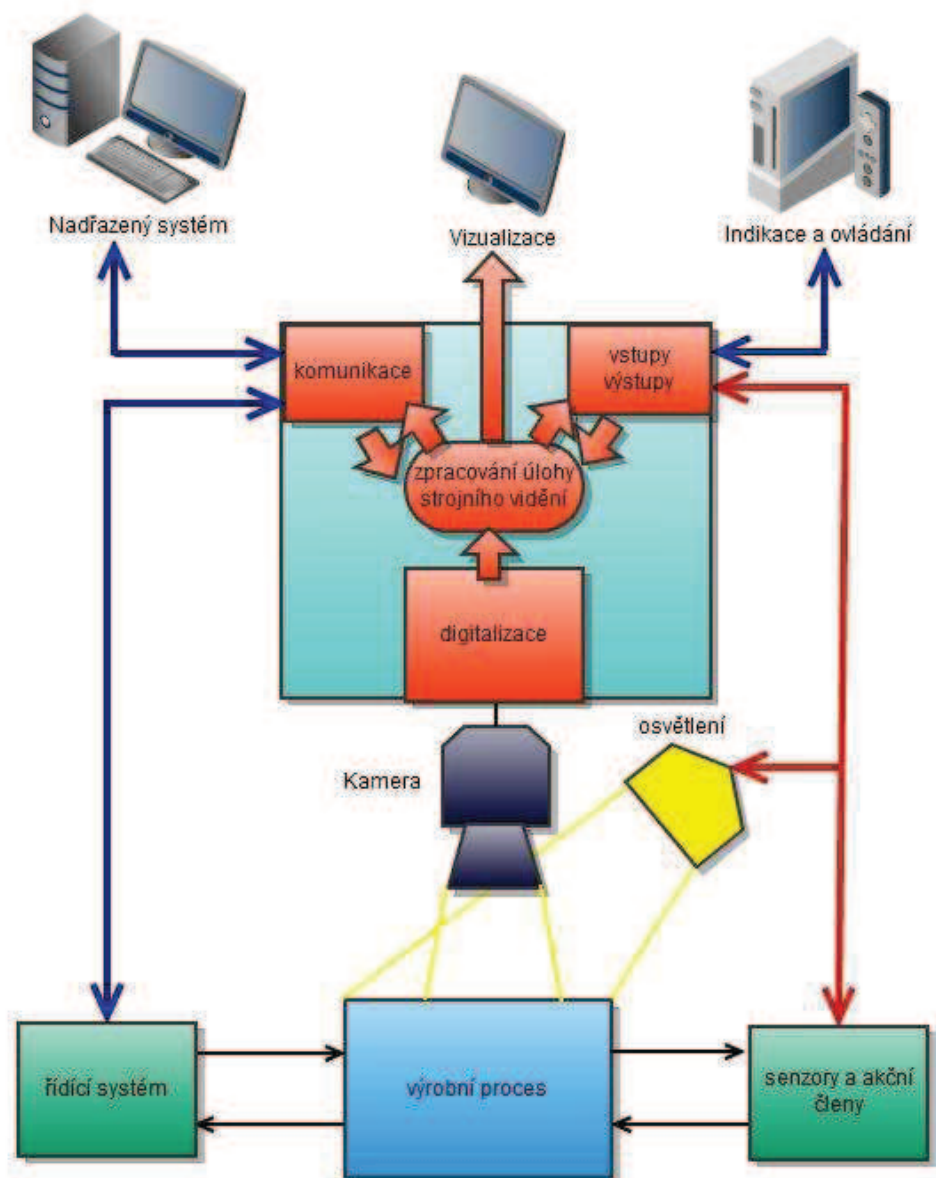
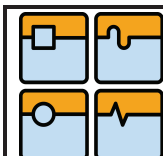
- *měření a kontrola tolerancí* – sejmuté snímky lze měřit a vyhodnocovat, kontrola průměrů hřídelí a otvorů, roztečí děr, závitů,
- *nalezení vad opracování* – zjištění vad po nedokonalém technologickém opracování, deformace či poškození po skladování nebo dopravě,
- *počítání, kontrola úplnosti a zabalení* – kontrola hladiny v lahvi, správné nasazení zátky, počet lahví v přepravce,
- *kontrola sestavení a montáže* – inspekce zdali jsou všechny součásti smontovaného dílu na svém místě a ve správné poloze,
- *identifikace barev* – lze nahradit spektrometrií, kontrola správnosti a úplnosti nátěru,
- rozpoznávání, polohování, třídění,
- *čtení a verifikace kódů* – identifikace zejména čárových a matrixových kódů, které se využívají zejména při montáži,
- kontrola povrchů a potisků. [5]

3.4 Princip strojového vidění

Způsob fungování systému strojového vidění je vlastně podobný fungování lidského zraku. Oko (kamera) zachytí obraz zkoumaného předmětu, mozek (systém) jej vyhodnotí podle již předepsaného algoritmu a provede činnost (akci) na základě výsledků vyhodnocení.

Pro správné sejmutí obrazu je samozřejmě nezbytné vhodné osvětlení, které je v případě strojového vidění zajišťováno vhodným zdrojem záření – osvětlovačem. Pracovní prostředí musí být ozářeno tak, aby došlo k odrazu světla z objektu na snímací prvek kamery a tím došlo k vytvoření dvojrozměrného jasového obrazu objektu.

Odražené záření musí být ze snímaného prvku převedena na vhodnou veličinu, aby došlo k získání požadovaných informací. Těmito veličinami jsou náboje nebo proudy, které nesou informace o intenzitě odraženého záření a v některých případech mohou také poskytovat informaci o barevných složkách dopadajícího světla. Náboje a proudy jsou analogové veličiny a pro další zpracování je zapotřebí je převést do digitální podoby. Dochází k tzv. digitalizaci obrazu (image processing), který je následně vyhodnocen podle předem zadaných kritérií a řídicí systém pak na základě tohoto vyhodnocení provede příslušnou akci. [6]



Obr. 1 Blokové schéma pracoviště se systémem strojového vidění [6] (vlastní zpracování)


3.5 Druhy systémů pro 3D strojové vidění

Realizaci samotného pracoviště pro strojové vidění lze provést několika způsoby a to zejména:

- kamerovými senzory,
- inteligentními (smart) kamerami,
- PC systémy,
- zákaznickými systémy. [7]

3.5.1 Kamerové senzory

Jsou nejjednodušším typem zařízení pro strojové vidění. V jejich těle je integrovaná kamera i s osvětlovačem. Jsou velmi kompaktní a cenově výhodné, mají však omezenou škálu aplikací. Každý jejich vstup a výstup má přesně definovanou funkci.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

K jejich programování se používá vestavěná klávesnice nebo komunikace přes Ethernet. [7] [8]



Obr. 2 Kamerový senzor Inspector P30 firmy SICK [8]

3.5.2 Inteligentní kamery

Jsou komplexnější než je tomu u kamerových senzorů. Jejich součástí je totiž mikroprocesor, který je používán jako vyhodnocovací jednotka. Velikost paměti RAM je většinou vybírána dle složitosti programu. V současnosti je standardní 128 MB operační paměť, do které je program nahrán z flash paměti. Velmi často je k nahrání programu používány SD Card nebo MM Card. Jako digitální vstupy/výstupy se často používají univerzální bitová rozhraní nastavitelná volitelně jako vstup nebo výstup. Odpovídají standardům obvyklým v průmyslu, jsou v provedení s otevřeným kolektorem typu PNP nebo NPN, s pracovním napětím do 30 V a příslušnými ochranami. Komunikační rozhraní se používají Ethernet, který má dostatečnou rychlost přenosu dat, aby bylo na PC (či jiném zvoleném MMI způsobu) umožněno zobrazování snímaného obrazu v reálném čase. Kromě standardního Ethernetu bývá smart kamera vybavena i pomocným rozhraním RS-232/422/485, které umožňuje snadnější připojení k většině současných PLC. Součástí vybavení smart kamer jsou i routery a převodníky k připojení k průmyslovým sběrnicím. [7], [9]



Obr. 3 Inteligentní kamera VS720 Siemens [9]

3.5.3 PC systémy

U PC systémů je jako vyhodnocovací jednotka použito PC se standardním operačním systémem. Kladem tohoto způsobu strojového vidění je možnost zapojení i několika kamer. Výpočetní výkon a velikost paměti jsou dány použitým počítačem. Vstupy a výstupy i komunikační rozhraní se realizují způsobem běžným v PC technice, nejčastěji pomocí zásuvných karet. Vzhledem k požadavku řízení snímání v reálném

čas a vzhledem k tomu, že počítače s komerčně dostupnými operačními systémy, nebývají tomuto přizpůsobeny a vykazují v těch případech značnou nespolehlivost, je od tohoto způsobeno postupně upouštěno. Jedním z důvodů je také to, že současné smart kamery a jejich výpočetní výkon jsou již srovnatelné s klasickými PC. [7]

3.5.4 Zákaznické systémy

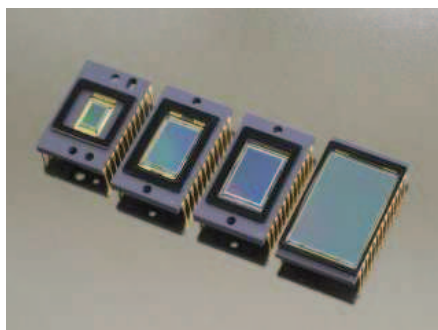
Jsou systémy, které nezapadají do specifikace předešlých systému strojového vidění. Jedná se o systémy, které vyžadují speciální řešení, vyšší rychlost či specifické algoritmy. [7]

3.6 Snímače obrazu

Pro aplikace strojového vidění je velice důležité výběr technologie vhodného snímání obrazu. V současnosti jsou dostupné dva hlavní typy, které lze použít pro potřeby 3D snímání. Jsou jimi snímače CCD (Charge-Coupled Device) a CMOS, další možným typem je snímač PMD vycházející z technologie CMOS. Nejdůležitějšími technickými parametry obrazových snímačů jsou rozlišitelnost, doba zpracování snímku (obnovitelnost snímání, velikost šumu, kvantová účinnost a bitové rozlišení A/D převodníku).

3.6.1 CCD (Charge-Coupled Device)

Tento polovodičový čip funguje na principu přeměny světelného záření na elektrický náboj (elektrony) a původně byl vyvíjen jako experimentální počítačová paměť. Elektrony se nemohou volně pohybovat čipem, protože jsou v čipu vytvořeny svislé negativní potenciálové valy, které odpuzují elektrony. Systém vodorovných elektrod, které také mají negativní náboj, vytváří na čipu mřížku potenciálových studní, z nichž elektrony nemohou uniknout. Každá potenciálová studna vytváří jeden obrazový bod – pixel. Celkové rozlišení čipu je pak určeno počtem pixelů. Pixely vystavené většímu množství světla naakumulují více elektronů a naopak. Jedna ze základních výhod CCD čipů ve srovnání s lidským okem tedy je schopnost akumulace náboje po dlouhou dobu. CCD tak mohou postupně nashromáždit dostatek světla i z velmi slabých světelných zdrojů. [10], [11]



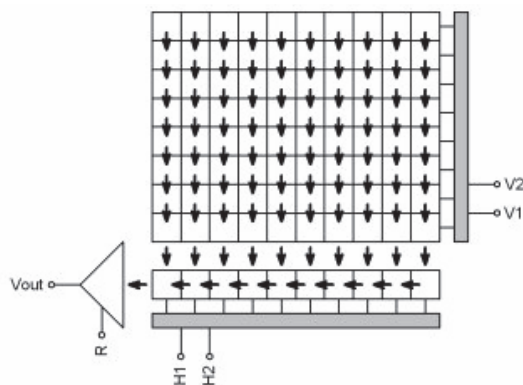
Obr. 4 Kodak Full Frame (FF) CCD [11]

Pixely mohou tvořit lineární CCD nebo maticové CCD. Lineární CCD (tvořené jednou řadou pixelů) bývají používány v případech, kdy je zapotřebí snímat jen

jednorozměrný obraz. Maticový (plošný) CCD detektor snímá obraz najednou a je používán v digitálních fotoaparátech a kamerách.

Vzniklý náboj se pak musí pomocí A/D převodníku digitalizovat na napěťový signál. Přičemž pro tento postup jsou používány tyto tři principy u maticových CCD:

Full Frame (FF, Prokládaný snímač) - dopadajícímu světlu je vystavena celá plocha snímače, tzn. všechny dostupné pixely. K sejmutí/svedení náboje je nutná mechanická clona (závěrka), která plochu snímače zakryje. FF čipy jsou nejvhodnější ke snímání slabých zdrojů světla a mají vysokou kvantovou účinnost.



Obr. 5 FF režim převodu náboje na napěťový signál [11]

Frame Transfer (FT, Progresivní snímač) – čip se skládá ze dvou vrstev, jedna je vystavena světlu (Imaging Area – IA) a druhá je překryta neprůhlednou vrstvou (Storage Area – SA). Ve chvíli, kdy je expozice ukončena a obraz přenesen z IA do SA. Z plochy SA je pak možné digitalizovat celý obraz po celou dobu snímání nového obrazu vrstvou IA. Tento princip se nazývá elektronická clona. S ohledem na to, že plocha snímače musí být dvakrát tak velká, dochází při výrobě ke zvýšení nákladů. Toto a další negativa pak vedou k tomu, že se od výroby FT postupně upouští. [11]

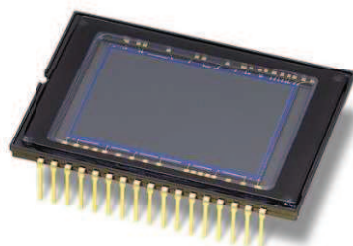
Interline Transfer – principiálně podobný snímači FT. Také zde je použita elektronická clona, ovšem na jiném principu. Každý lichý sloupec akumuluje světlo, sudé sloupce jsou překryty neprůhlednou vrstvou. Jakmile expozice skončí, liché sloupce jsou velice rychle přesunuty do sudých sloupců. Ty jsou pak postupně posouvány do horizontálního registru a digitalizovány. Tato technologie se pak používá u dražších zařízení s obnovitelností snímání. [11]

Základní parametry CCD snímačů:

- *kvantová účinnost* (quantum efficiency – QE) - určuje kolik fotonů dopadajících na čip je převeden na signál,
- *čtecí šum* – tento parametr udává, s jakou přesností lze změřit náboj jednotlivých pixelů,
- *temný proud* – počet elektronů za sekundu na pixel (e/s/px), charakterizuje změnu náboje v potenciálové jámě pixelu vlivem úniku elektronů,
- *A/D převodník* – vyjadřuje počet bitů převodníku. [11]

3.6.2 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

Technologie snímačů CMOS spočívá v integraci sběrnice dat ke každému pixelu, což omezuje ztrátu elektrického náboje, u které docházelo zejména u raných typů CCD. Tato konstrukce také zaručuje podstatně menší spotřebu energie. Technologie výroby, která je velice podobná výrobě procesorů, zaručuje snížení výrobních nákladů na třetinu než je tomu u s távajících CCD snímačů. [12]



Obr. 6 CMOS snímač [13]

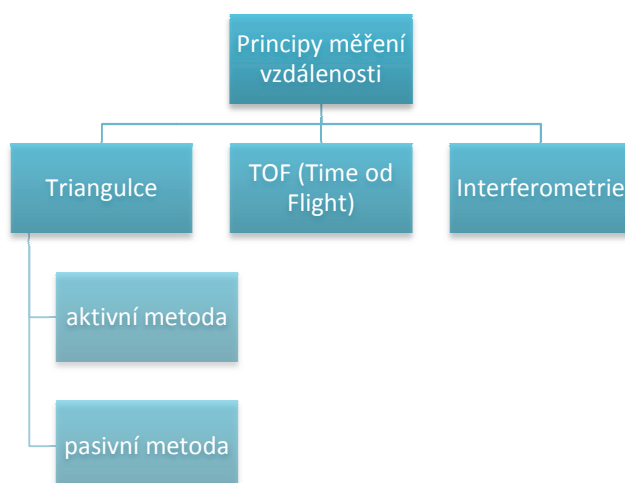
Rozlišují se dva druhy snímačů:

CMOS PPS (Passive Pixel Sensors) – jedná se o nejjednodušší typ čipu, který generuje elektrický náboj úměrný energii dopadajícího záření, náboj prochází před zesilovač do A/D převodníku stejně jako u CCD. Nevýhodou tohoto typu je především nekvalitní obraz, což vede k jeho nevhodnosti pro aplikace ve 3D snímání.

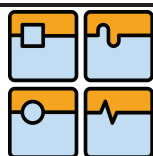
CMOS APS (Active Pixel Sensors) – u tohoto typu snímače je každý pixel opatřen analogovým obvodem, který vyhodnocuje ztráty elektrického náboje (šum) a následně jej eliminuje. [12], [13]

3.7 Principy měření vzdálenosti

Každý snímač obrazu je schopen snímat jen dvourozměrný obraz. Pro vytvoření 3D modelu je zapotřebí odměřit vzdálenost každého bodu snímaného předmětu od snímače. Pro získání třetí souřadnice při využití 3D laserového skenování se používají tři následující metody. [10]



Obr. 7 Metody měření vzdálenosti



3.7.1 Triangulace

Tento způsob 3D snímání je nejfrekventovanější z uvedených metod, má však také největší nároky na konstrukci snímacího stanoviště. Vhodnými triangulacemi pro aplikace 3D snímání jsou metoda pasivní a aktivní. [10]

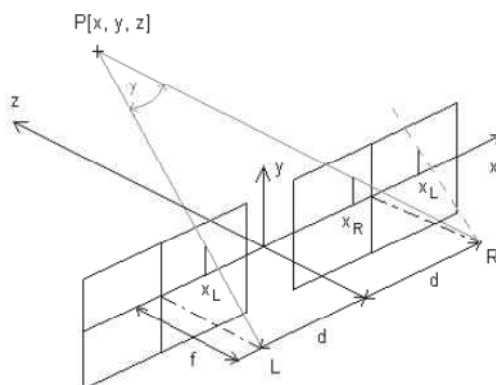
3.7.1.1. Pasivní triangulace

Princip této metody je stereovidění, při němž není uvažováno geometrické uspořádání osvětlení. U stereovidění je zapotřebí použít dvou snímačů, které jsou rovnoběžné a mají fixní ohniskovou vzdálenost. Ze dvou snímků, které jsou těmito snímači získány, pak tvoří perspektivní obrazy snímaného objektu. Důležitý je přitom úhel, který svírají oba paprsky. Tento úhel se označuje jako úhlová paralaxa. Pro body bližší snímačům je úhel větší než je tomu u bodů vzdálenějších. Snímaný bod a ohniska snímačů tvoří tedy trojúhelník, vzdálenost bodu lze tedy již jednoduše vypočítat podle goniometrických funkcí. Jestliže se tedy podaří v obou snímcích nalézt odpovídající bod P, lze souřadnice bodu P určit podle vztahů:

$$x_P = x_L \frac{2d}{x_L - x_R} \quad (3.1)$$

$$y_P = y_L \frac{2d}{x_L - x_R} \quad (3.2)$$

$$z_P = z_L \frac{2df}{x_L - x_R} \quad (3.2)$$

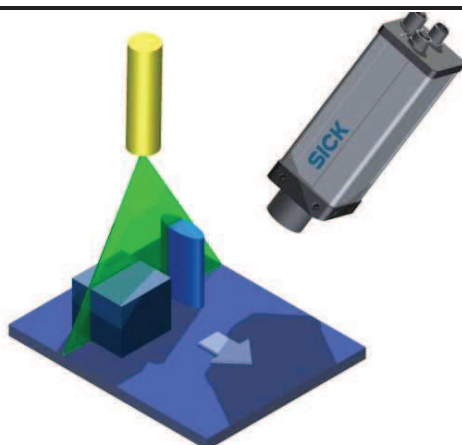


Obr. 8 Schéma stereometrického snímku [14]

kde: $2d$ vzdálenost mezi optickými osami snímačů, f je jejich ohnisková vzdálenost, x_L a x_R jsou souřadnice řešeného bodu v obrazové rovině $z = 0$, rozdíl $x_L - x_R$ je označován jako horizontální paralaxa. [10], [14]

3.7.1.2. Aktivní triangulace

Metoda je založena na nasvícení povrchu objektu světelným zdrojem (osvětlovačem) a současným snímáním pomocí snímače. Zdroj světla, snímač a osvětlený bod na zkoumaném objektu tvoří triangulační trojúhelník. Spojnice osvětlovače a snímače vytváří triangulační bázi. Na místě světelného zdroje se úhel, který svírá s triangulační fází, nemění. Na povrch snímače však paprsek dopadá vždy pod jiným úhlem. Z velikosti tohoto úhlu a triangulační báze lze pak vypočítat vzdálenost bodu na snímaném objektu. [10], [14]



Obr. 9 Aktivní triangulace [10] (vlastní zpracování)

Podle použití světelného zdroje lze metodu dále rozdělit:

- 1D triangulace – snímaným vzorem je bod,
- 2D triangulace – snímaným vzorem je linie,
- 3D triangulace – snímaným vzorem je strukturovaný svazek (nejčastěji světelný kříž).

Velice výhodné je u této metody použít jako osvětlovač laser. Pokud je k laseru o známé frekvenci připojen i spektrální filtr o stejné frekvenci, filtr eliminuje světlo jasnější než laserový paprsek a umožňuje tedy lepší snímání. V závislosti na požadovaném typu trigonometrie lze pak laserový bod upravit pomocí čoček a zrcadel na pruh, kříž nebo kužel.

Rozlišení jednotlivých snímaných bodů na povrchu objektu závisí především na velikosti báze, na úhlu osvětlovače, rozlišení kamery a ohniskové vzdálenosti objektivu. Problémy při snímání touto metodou mohou nastat při snímání ploch kolmých na obrazovou rovinu nebo rovnoběžných ke zdroji světla. Další problémy mohou nastat snímání průhledných nebo lesklých objektů. [10], [14]

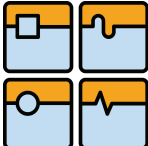
3.7.2 TOF – Měření doby letu modulovaného světla

Metoda funguje na principu měření doby letu modulovaného světla vyslaného z vysílače a odražené zpět k přijímači. Pro tento princip je nesmírně důležité přesné měření času. Při požadavku na přesnost měření 1 mm, je doba letu světelného signálu $6 \cdot 10^{-12}$ s. TOF senzory vysílají jen jeden laserový paprsek, tudíž je z povrchu předmětu získán jeden bod. Tato skutečnost vede k tomu, že je paprsek hnán soustavou miniaturních zrcadel po povrchu objektu. Získaná data jsou pak ve tvaru vektoru. [10], [14]

3.7.3 Optická interferometrie

Tato metoda je založena na měření doby letu koherentního záření. Interferometry jsou zpravidla složeny ze světelného zdroje, děliče paprsku (tvoří polopropustná destička), dvojicí lineárních odražečů a fotocitlivým detektorem.

Světelný zdroj vytváří monochromatický světelný paprsek, který dopadá na postříbřenou polopropustnou destičku nastavenou pod úhlem 45° ke směru paprsku.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Paprsek se na destičce rozdělí na dva navzájem kolmé paprsky. Paprsek destičkou dopadá na zrcadlo (pohyblivé), paprsek odražený dopadá na druhé zrcadlo (fixní). Po odrazu na zrcadlech se oba paprsky opět vrátí na polopropustnou destičku, kde se opět rozdělí. Část paprsků se vrací do zdroje (nezakresleno) a část paprsků postupuje směrem k detektoru s fotocitlivými prvky, kde se detekuje interference paprsků. Maximum odpovídá světlému interferenčnímu proužku, minimum tmavému interferenčnímu proužku. Počet interferenčních proužků prošlých přes šterbinu fotodetektoru, je mírou změny délky. [10], [14]

3.8 Osvětlení ve strojovém vidění

Správný způsob osvětlení zkoumaného objektu je stejně důležitou součástí systému, jako je snímač strojového vidění. Osvětlovač zaručuje dosažení správného kontrastu povrchu objektu a sejmutí reprezentativního obrazu, který bude obsahovat potřebné informace o objektu. Přičemž musí dojít k správnému osvětlení těch částí objektů, které jsou pro daný úkol zájmové, a naopak potlačení rušivých, pro úkol nepodstatných elementů objektu. [15]

K dosažení správného obrazu snímaného objektu lze dojít dvěma způsoby – využitím jejich rozdílné absorbce, nebo rozdílem jejich jasu vytvořeným vhodným směrovým osvětlením. Pro obě metody je nejprve nezbytné provést analýzu interakce objektu a osvětlení. Podle výsledku této analýzy pak dochází k výběru vhodného osvětlovače, nezbytné geometrie osvětlení a způsobu jak eliminovat případné rušivé vlivy. Celý postup lze rozdělit do těchto částí:

- Analýzy vlastností snímaného objektu vzhledem k úloze strojového vidění

Velikost absorbce/odrazivosti světla, tvar, velikost, členitost objektu, struktura povrchu, průsvitnost/průhlednost materiálu

- Analýza potřebných vlastností použitého světla

Způsob interakce použitého světla s objektem, působení na obrazový snímač

- Stanovení vhodné geometrie osvětlení

Geometrie osvětlení je dána složením světelného svazku a v současnosti se ve strojovém vidění používá několik způsobů jak objekty svítit:

- Přední osvětlení s jasným zorným polem - Objekt je pomocí osvětlovače nasvícen tak, že odražené světlo dopadá přímo na objektiv kamery.
- Přední osvětlení s temným zorným polem - Objekt je nasvícen tak, aby se světlo dopadající na členité části objektu odráželo do objektivu kamery na rozdíl od povrchu objektu, který je odrážen mimo. Tímto způsobem se získá obraz členitosti povrchu v temném poli.
- Zadní rozptýlené světlo - Objekt se nachází mezi objektivem kamery a osvětlovačem. Používá se zejména pro úlohy, kde je potřeba zjistit tvar součástí.

- Výběr vhodného osvětlovače

V dnešní době se za jako osvětlovače používají zejména LED diody, které nemají takové nároky na velikost vstupního napětí a redukce intenzity světelného toku není složitá, také vynikají dlouhou životností.

- Eliminace rušivých vlivů

Další důležitou podmínkou je při opakovatelném snímání dosáhnout stejných výsledků, což vyžaduje, aby světelné podmínky zůstaly stejné. Tohoto se dosahuje obtížně s ohledem na přirozenou přítomnost dalších zdrojů světla (přirodní světlo, osvětlení haly, atd.). Nejjednodušším řešením spočívá v odstínění těchto rušivých zdrojů, které je možné jen v některých případech, proto se v některých aplikacích používají osvětlovače s větším světelným tokem, než jsou okolní zdroje světla. [15]

3.8.1 Laserová dioda

Laser je optický zdroj elektromagnetického záření, které je na rozdíl od ostatních zdrojů světla polarizované, monochromické, koherentní se sinusovým průběhem. Laser = zesílené světlo pomocí stimulované emise záření. V aplikacích 3D snímání se většinou používají laserové diody třídy II., jelikož jejich přímý paprsek a odraz od předmětu nezpůsobují poškození zraku. V případě laserové interference se také používají lasery I. třídy.

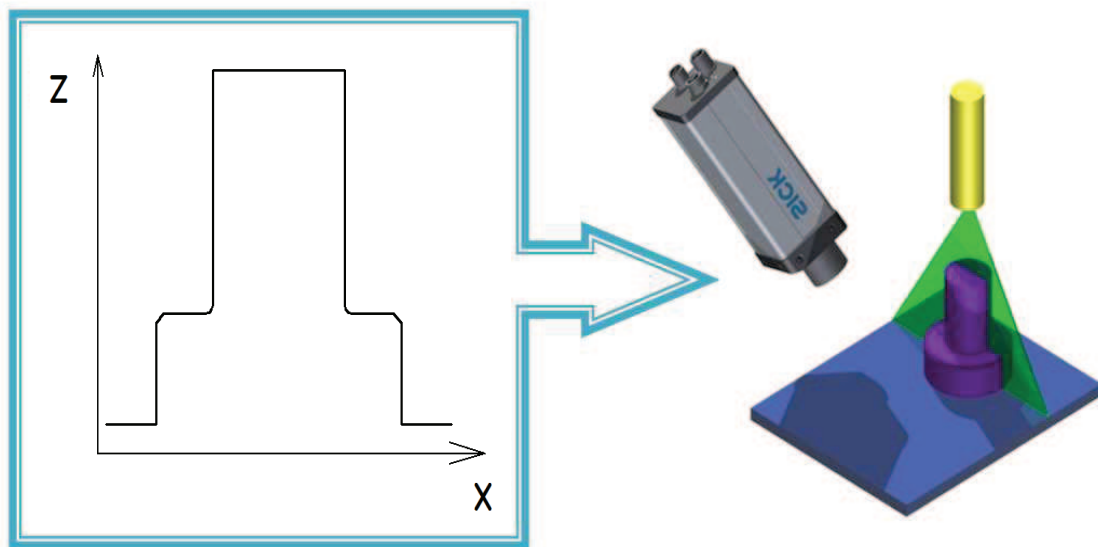
Tyto diody jsou polovodičové, emitují paprsek o vlnové délce 635-670 nm o výkonu <1mW. Vysílají intenzivní modulovaný signál a mezi vyslaným a přijímaným signálem se měří změna fáze. Díky vysokému modulačnímu kmitočtu, nejčastěji 314 MHz je dosahovaná přesnost kolem 0,1 mm. [16]

V případě laserové interference se používají také lasery I. třídy.

3.9 Průběh tvorby 3D modelu

3D model je generován z profilů, kde každý profil reprezentuje průřez snímaného objektu. Profil je sejmuto, když objekt prochází pod laserovým paprskem, který se projevuje jako linie na objektu. Sestavením všech nasnímaných profilů vzniká konečný 3D model objektu. K tomu je však potřebné ještě znát vzdálenost mezi dvěma sousedícími profily. Program předpokládá, že vzdálenost mezi dvěma profily je konstantní, proto je velmi důležité, aby tato podmínka byla splněna. Popřípadě aby software dostával přesné informace o vzdálenosti mezi jednotlivými profily. Existují dva způsoby, jak toho dosáhnout:

- konstantní rychlost, která je známa, lze zadat přímo do programu,
- použitím snímače, který bude informovat o posunu mezi profily. [17]



Obr. 10 Snímání profilu součásti [17] (vlastní provedení)

4 Návrh experimentálního pracoviště

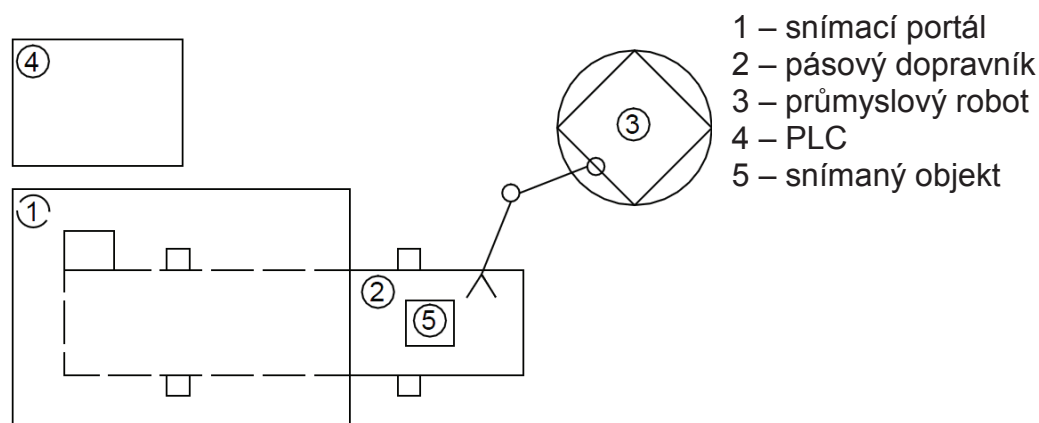
Diplomová práce se zabývá možností vytvoření pracoviště, na kterém by bylo možno demonstrovat možnosti uchopení neorientovaného objektu průmyslovým robotem s pomocí 3D snímání. V průmyslové praxi není zatím toto řešení příliš frekventované, častější je použití několika kamer, které snímají stejný objekt a až po vyhodnocení všech jejich snímků dochází k vyhodnocení polohy a natočení objektu. 3D snímání přináší nesporné výhody proti jiným řešením – eliminuje množství snímacích prvků, není tak náročný na údržbu.

4.1 Popis funkce pracoviště

Realizace uchopení neorientovaného předmětu je řešena následovně. Po uvedení dopravníku do chodu je na jeho pás zcela nahodile položen objekt. Je snímán kamerou, která vyhodnocuje jeho polohu a natočení. Jakmile jsou tyto data známa, dojde k jejich předání průmyslovému robotu, který provede uchopení objektu. Uchopený objekt robot orientuje do základní pozice a přenesení jej na požadované souřadnice.

4.2 Konceptce pracoviště

Experimentální pracoviště pro 3D snímání je navrženo podle Obr. 11.



Obr. 11 Schéma experimentálního pracoviště

Snímací portál (1)

Na snímacím portálu bude upevněna smart kamera a lasery, které budou provádět samotné měření. Portál bude vybaven lineární posuvnou osou, na které bude připevněn ICR snímač, pro zjištění průběhu pohybu snímacích prvků po ose. Kamera bude připojena k síti Ethernet přes rozbočovač typu Switch. Snímací portál je třeba zcela navrhnout.

Pásový dopravník (2)

Snímané předměty budou volně položeny na jeho běžícím pásu. K dopravníku bude připevněn IRC snímač, který bude připojen k Ethernetu.

Průmyslový robot (3)

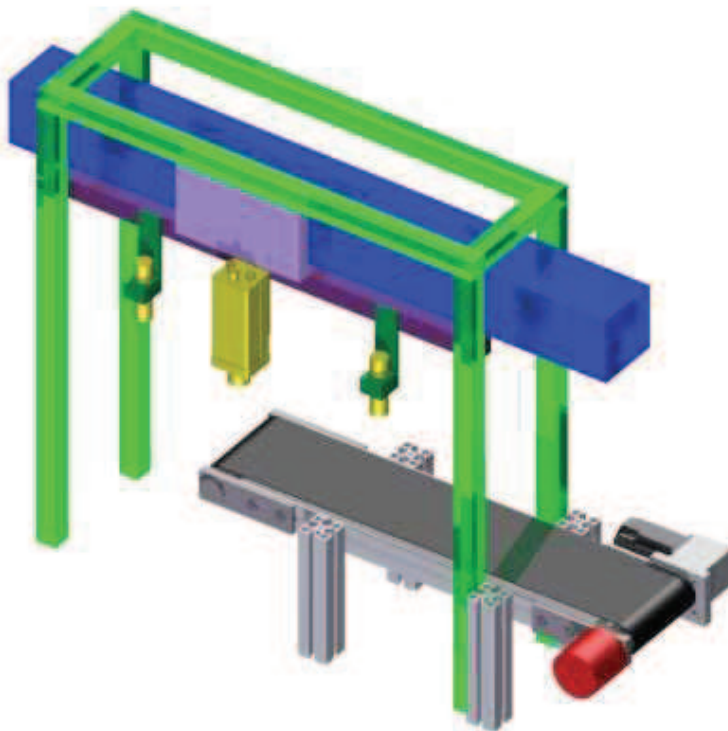
KUKA KR3 je šestiosý průmyslový robot s nosností 3 kg, dosahem 635 mm a opakovatelnou přesností ± 0.05 mm. Robot bude uchopovat dané neorientované předměty z pásového dopravníku.

PLC (4)

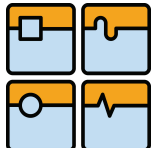
Základním komunikačním prvkem mezi systémy pracoviště je PLC (Programmable Logic Controller) od firmy Beckhoff. Jde o průmyslové PC, poskládaný z modulů Beckhoff, které rozšiřují PLC o některé doplňkové funkce. Základ PLC tvoří modul embedded PC, vybavený operačním systémem Windows CE (operační systém, který je optimalizován pro zařízení, která mají málo místa pro uložení operačního systému. Pro běh jádra systému stačí velice málo místa v řádech jednotek megabajtů). Modul PC je doplněn o prvky pro indikaci stavu a je připojen k PCI sběrnici. Na tuto sběrnici je pak připojen i modul s ethernetovými a USB výstupy. Pomocí dalších modulů je PLC rozšířeno o paměť (paměťovou kartu), přepínače, digitální vstupy a výstupy a také je PLC umožněna komunikace s okolím přes DeviceNet.

4.3 Návrh snímacího portálu

Na Obr. 12 je schematicky vyobrazen návrh 3D snímacího portálu. Jeho základní konstrukční prvky jsou:



Obr. 12 Konceptuální návrh portálu pro 3D vidění

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 30
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pásový dopravník (1)

Pásový dopravník je již ve vlastnictví ÚVSSR. V DP tedy není řešena jeho konstrukce jen dílčí změny, které je zapotřebí provést k připojení inkrementálního snímače polohy k hnací hřídeli dopravníku.

Inkrementální snímač (2)

Pro zjištění polohu snímaného předmětu, který se pohybuje danou rychlostí po pásovém dopravníku je zapotřebí se k dopravníku připojit příslušným inkrementálním snímačem.

Rám portálu (3)

Rozměry rámu musí být přizpůsobeny jak možnosti, že celý portál bude připojen k pásovému dopravníku, tak s variantou, kdy bude stát samostatně.

Lineární posuvová osa (4)

Pro zajištění snímání předmětu bez přítomnosti pásového dopravníku je třeba portál vybavit posuvnou lineární osou, která bude umožňovat pohyb kamery a obou laserů v horizontálním směru.

Snímací hlavy (5)

Jelikož sestava bude sloužit k experimentálnímu snímání 3D obrazu musí umožňovat, na rozdíl od praxe, různé metody snímání (jedním nebo dvěma lasery, různý úhel natočení kamery, laserů atd.). Proto je jedním z úkolů požadavek na konstrukci snímací hlavy tak, aby umožňovala natáčení kamery i laserů a aby se dala měnit jejich vzájemná vzdálenost. Dále muselo být splněno, aby bylo možné kameru a lasery zajistit proti pohybu při pojezdu snímací hlavy.

4.4 Volba snímacích prvků portálu

4.4.1 Smart kamera

Ke snímání obrazu byla z nabídky firmy SICK vybrána smart kamera IVC-2DM1122. Kamera je vybavena 1/3" CCD obrazovým senzorem s elektronickou závěrkou, procesorem o frekvenci 800 MHz a 128 MB RAM pamětí + 16 MB flash paměti. Maximální rozlišení kamery je 1024 x 768 pixelů. Hloubka ostroty kamery je od 100 mm do 4 m. Dále je vybavena komunikačními rozhraními RS-485, Fast Ethernet (10/100 Mbit/s) a OPC. Tyto rozhraní umožňují snadnou komunikaci s PLC, průmyslovými roboty a kontrolními systémy. Programování kamery se provádí pomocí programu IVC Studio, které je dodáván společně s kamerou. [18]



Obr. Smart kamera IVC-2DM1122 [18]

4.4.2 Laser

Při výběru laseru byla brána v potaz zejména pořizovací cena takového prvku. Pro stanovené využití musel vybraný laser splňovat následující podmínky:

- základním požadavkem je, aby se jednalo o laser se zaostřitelným paprskem (angl. Focusable),
- vyzařovaný paprsek měl liniový průmět,
- musí emitovat paprsek o vlnové délce 660 nm,
- při náhodném pohledu do svazku paprsku nesmí dojít k poškození zraku, tudíž se musí jednat o laser maximálně 2. třídy.

Podle výše zmíněných požadavků byla vybrána od firmy EDMUND OPTICKS laserová dioda T66-374 s vyměnitelnou projekční hlavou T58-186, která převádí původní bodový laserový paprsek na liniový s vyzařovacím úhlem 60°. [19]

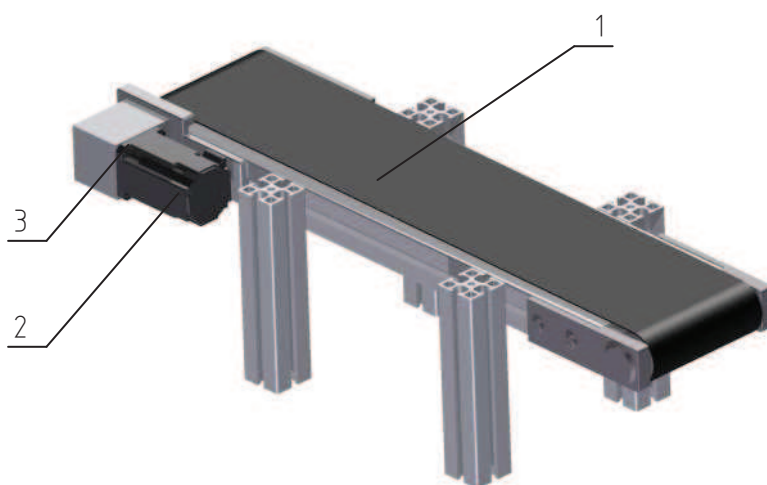


Obr. 13 Laserová dioda s projekčními hlavami [19]

5 Návrh Konstrukčních prvků portálu

5.1 Pásový dopravník

Pásový dopravník je tvořen stavebnicovým systémem z nabídky firmy Alutec K&K [20]. Dopravník je z velké části tvořen hliníkovými profily, které jsou nenáročné na montáž. Velmi důležitá pro správnou funkci snímání je černá matná barva pásu. V případě jiné barvy pásu by totiž mohlo docházet k nepřesnému snímání laserového paprsku a k tím ke zkreslení obrazové informace o objektu. Šířka pásu je 140 mm, délka dopravníku 700 mm a výška 200 mm. Pás je poháněn servomotorem firmy Bonfiglioli a se šnekovou převodovkou.



Obr. 14 Pásový dopravník - stávající (vlastní zpracování)
1 – pásový dopravník, 2 – servomotor, 3 – převodovka

Pro plnohodnotné zapojení do procesu strojového vidění je nutné dopravník pro tyto účely upravit. V případě, kdy bude na pásu položen snímáný objekt a dopravník bude zapnut, je nezbytné řídicímu systému dodávat informaci o změně y souřadnice předmětu, která je nutná pro sloučení jednotlivých liniových profilů objektu do jednotného 3D modelu. Z tohoto důvodu je zapotřebí k hnací hřídeli připojit inkrementální snímač. Snímač bude připevněn na přírubě hnaného hřídele na protější straně motoru.

Připojení IRC snímače tedy bude zahrnovat:

- výběr IRC snímače,
- volbu spojky, která bude přenášet krouticí moment z hnací hřídele na IRC snímač,
- výměnu hnací hřídele pásu za nově navrženou,
- výměnu příruby za průchozí přírubu s nalisovaným ložiskem,
- konstrukce upevnění IRC snímače k pásovému dopravníku.

5.1.1 Výběr inkrementálního snímače

Při výběru inkrementálního snímače byl zohledňován požadavek rozlišitelnosti 10 000 pulzů za otáčku. Proto byl z nabídky firmy SICK vybrán IRC snímač DFS60 s následujícími charakteristikami:

Průměr hřídele	14 mm
Počet pulzů za otáčku	10 000
Moment setrvačnosti rotoru	40 gcm ²
Mechanické rozhraní	Průchozí dutá hřídel
Dovolené chyby	±0,05°
Hmotnost	0,2 kg

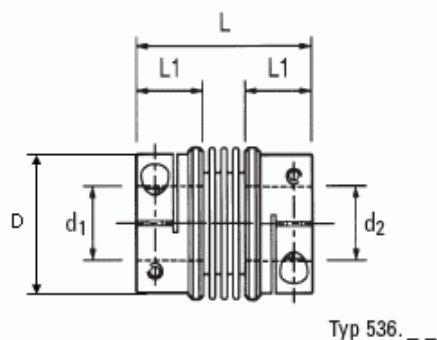
Tabulka 1 Charakteristiky IRC snímače DFS60 [18]



Obr. 15 Inkrementální snímač DFS60 [18]

5.1.2 Volba spojky

Pro přenos krouticího momentu od hnací hřídele na inkrementální snímač je zapotřebí spojovací člen. Proto byla z nabídky firmy T.E.A. TECHNIK vybrána vlnková spojka 563,34 s nerezovým válcem a v krátkém provedení, která je bezvůlová, vyznačuje se velkou torzní tuhostí, umožňuje montáž nesouosých hřídelů a tlumí vibrace.



Obr. 16 Vlnková spojka 563,34 [21]

Číslo	536,34
D (mm)	34
L (mm)	40
d1 min (mm)	6
d1 max (mm)	16
d2 min (mm)	6

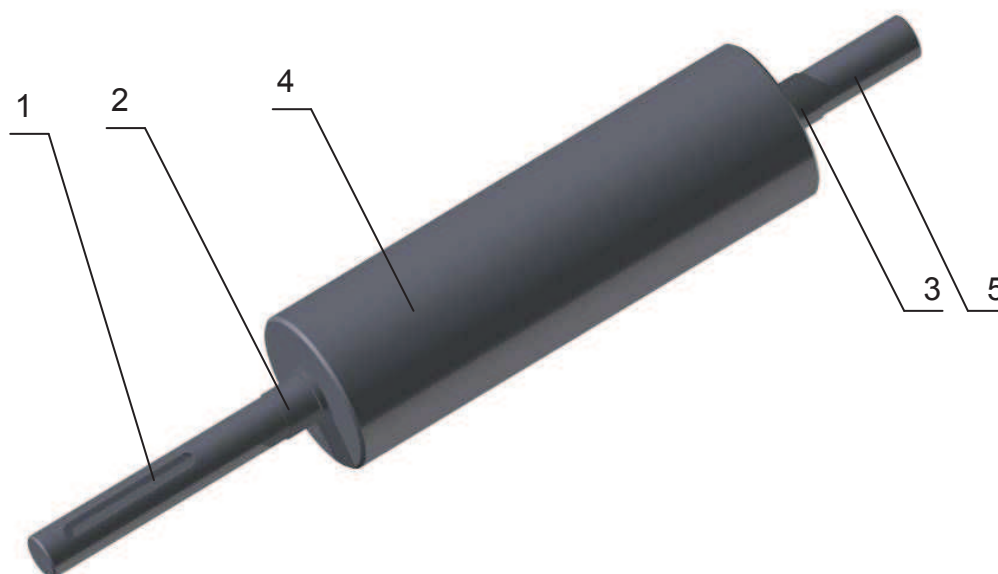
d2 min (mm)	16
M	M3
Max. otáčky (tr/min)	5000
Max. kroutící moment (N.m)	750
Hmotnost (kg)	0,56

Tabulka 2 Charakteristika vlnovcové spojky 563,34 [21]

5.1.3 Konstrukce hnacího hřídele

Při konstrukci nové hnací hřídele pásu bylo vycházeno z technické dokumentace stávající hřídele od firmy Alutec K&K [20]. Došlo k prodloužení celkové délky o délku potřebnou k připojení přes spojku k IC snímači.

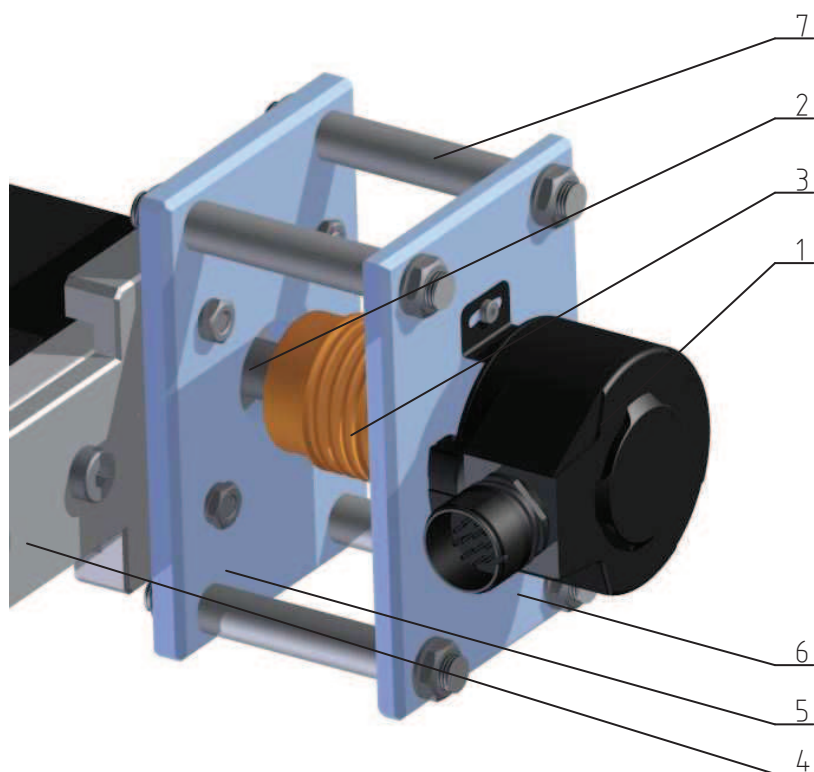
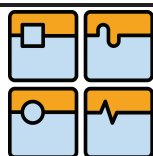
Válcové zakončení hřídele s drážkou pro pero (1) slouží k připojení k převodovce motoru. Na průměrech (2) a (3) je provedeno uložení v ložiscích. Na funkční části hřídele (4), která se stýká s pásem dopravníku, je z obou konců provedeno po délce zkosení průměru hřídele 50mm od podélné osy dopravníku směrem ke krajům o 10', aby docházelo k správnému vedení pásu. Válcový konec (5) je přizpůsoben pro styk se spojkou.



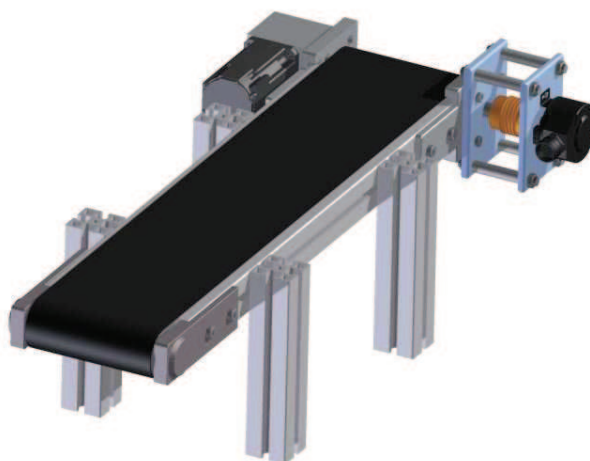
Obr. 17 Hnací hřídel pásu

5.1.4 Montáž inkrementálního snímače

Snímač (1) je k hnací hřídeli dopravníku (2) připojen prostřednictvím vlnovcové spojky (3). K dopravníku je připevněna příruba (4), na kterou je přišroubována hliníková deska (5). Ta je spojena s deskou snímače (6) čtyřmi tyčemi se závity (7). Snímač je k desce připevněn dvěma šrouby M3.



Obr. 18 Montáž snímače a spojky



Obr. 19 Pásový dopravník - změny(vlastní zpracování)

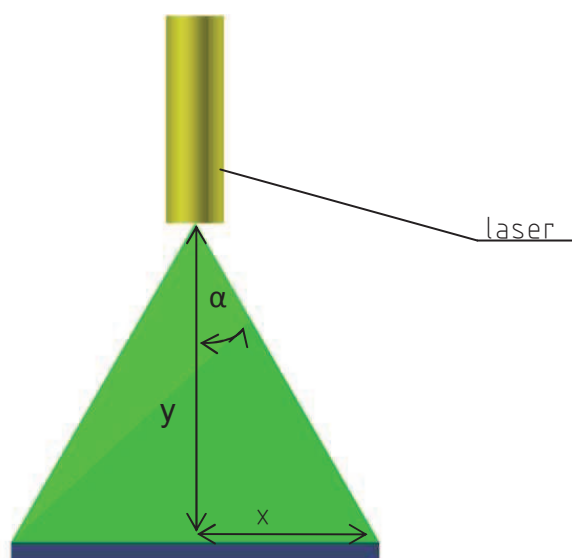
5.2 RÁM

Konstrukce rámu bude kompletně provedena pomocí hliníkového konstrukčního systému od firmy Alutec K&K [20]. Jedná se o hliníkové profily čtvercového průřezu. Tyto profily se vyrábějí v řadách s různými moduly (velikosti průřezu) a typu drážek. Konkrétně budou použity hliníkové profily modulu 30 standardního provedení s drážkou 6. Značnou výhodou je, že se jedná o velmi jednoduchý systém, který nabízí rychlost montáže a variabilitu. Těchto vlastností lze využít během vývoje a operativně

měnit technické řešení daného konceptu. Dalším kladem systému je, že se v montáži neobjevují žádné svary a při montáži není zapotřebí žádných speciálních nástrojů. Ke vzájemnému spojení hliníkových profilů přes drážky stačí šrouby, matice a fixační úhelníky. Profily jsou vzájemně kompatibilní a lze tedy celou konstrukci upravovat dle dané potřeby. Dále se redukuje čas výroby a zároveň je zaručená pevnost, která odpovídá svařovaným konstrukcím.

5.2.1 Stanovení výšky ránu

Výška rámu bude odvozena na základě potřeby obsáhnout laserovým paprskem celou šířku pásového dopravníku. Součásti nemusí být umístěny v přesném středu dopravníku a mohou být volně položeny. Základním parametrem, určující výšku celého portálu je úhel vyzařování laserového paprsku z diody. Pro vybraný osvětlovač je tento úhel 60° . Celý výpočet minimální výšky, ve které musí být laser (na všech obrázcích schematicky znázorněn jako žlutý válec) umístěn, je proveden podle jednoduchých trigonometrických vztahů. Trojúhelník, který vznikne vyzařováním laseru, rozdělí na dva pravoúhlé trojúhelníky. Počítat se poté bude s úhlem 30° . Šířka pásu dopravníku, na kterém budou umístěny součásti, je 140 mm, bude po rozdělení počítáno s délkou $x = 70 \text{ mm}$. Pokud bude laser kolmo k dopravníku, lze již rozměr y jednoduše vypočítat.



Obr. 20 Úhel vyzařování laseru (vlastní zpracování)

Dáno:

$$x = 70 \text{ mm}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Výpočet:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{x}{y} \\ y &= \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{70 \text{ mm}}{\operatorname{tg} 30^\circ} \\ y &= 40,415 \text{ mm} \cong 41 \text{ mm} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Z výpočtu je zřejmé, že laser musí být umístěn minimálně 41 mm nad pásem dopravníku. Toto je jen minimální výška, na kterou lze laser nastavit.

V případech, kdy nebude laser kolmo s plochou, na které je položena snímáný předmět, je zapotřebí vypočítat, jaká bude maximální délka tohoto předmětu, aby jej laserový paprsek pokryl. Maximální vzdálenost mezi dopravníkovým pásem a kamerou byla zvolena 415 mm. Vzdálenost v případě, kdy bude spuštěn jenom jeden laser, je mezi laser a kamerou 500 mm.

Přeponu y_1 jednoduše vypočítáme dle Pythagorovy věty:

$$y_1 = \sqrt{500^2 + 415^2} \quad (5.2)$$

$$y_1 = 649,788 \text{ mm}$$

Vzdálenost s_1 , kterou laser pokryje je rovna dvojnásobku vzdálenosti x_1 :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_1}{y_1} \quad (5.3)$$

$$x_1 = y_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.4)$$

$$x_1 = 649,788 \text{ mm} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ$$

$$x_1 = 375,156 \text{ mm}$$

$$s_1 = 2 \cdot x_1 = 2 \cdot 375,156 \text{ mm} \quad (5.5)$$

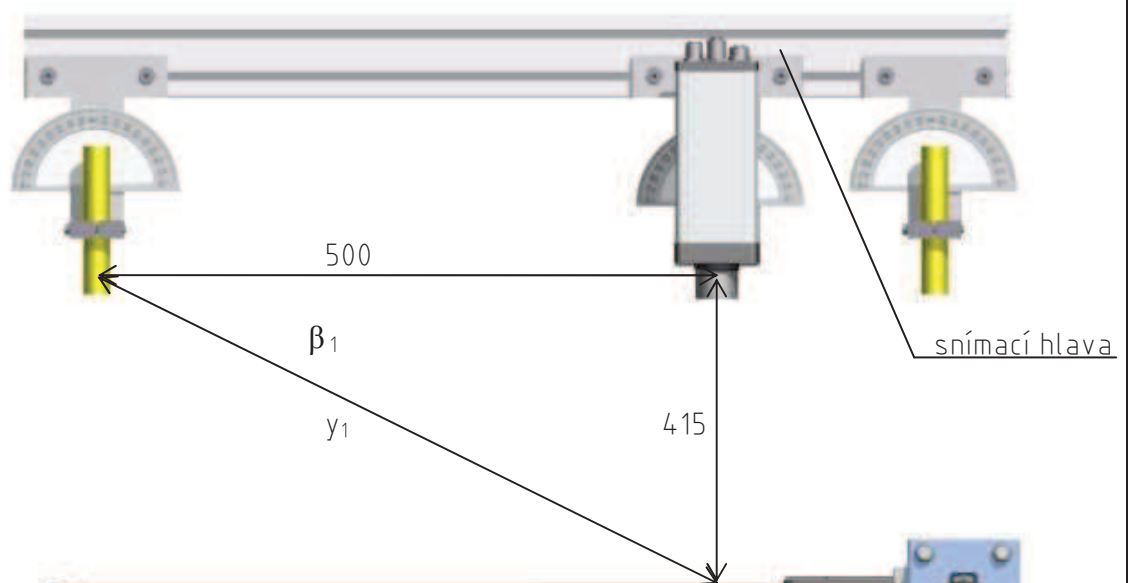
$$s_1 = 750,311 \text{ mm} \cong \mathbf{750 \text{ mm}}$$

Dále je vhodné určit úhel, pod kterým bude laser v takovém případě natočen.

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{415 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,83 \quad (5.6)$$

$$\beta_1 = 39,69^\circ$$

Při nastavení maximální vzdálenosti mezi laserem a kamerou je systém schopen snímat předmět o šířce 750 mm.



Obr. 21 Vzdálenost při snímání jedním laserem

V případě, kdy jsou zapojeny oba lasery, se zmenší vzdálenost laseru a kamery na 280 mm.

$$y_2 = \sqrt{280^2 + 415^2} \quad (5.7)$$

$$y_2 = 464,208 \text{ mm}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_2}{y_2} \quad (5.8)$$

$$x_2 = y_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (5.9)$$

$$x_2 = 464,208 \text{ mm} \cdot \operatorname{tg} 30^\circ$$

$$x_2 = 268,011 \text{ mm}$$

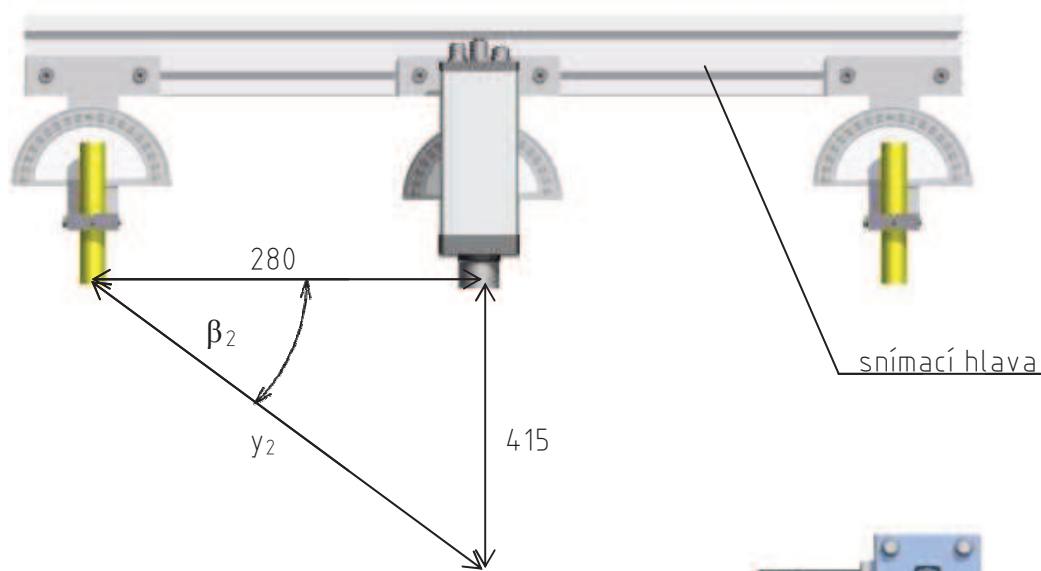
$$s_2 = 2 \cdot x_1 = 2 \cdot 268,011 \text{ mm} \quad (5.10)$$

$$s_2 = 536,022 \text{ mm} \approx \mathbf{536 \text{ mm}}$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{415 \text{ mm}}{280 \text{ mm}} = 1,482 \quad (5.11)$$

$$\beta_2 = 55,99^\circ$$

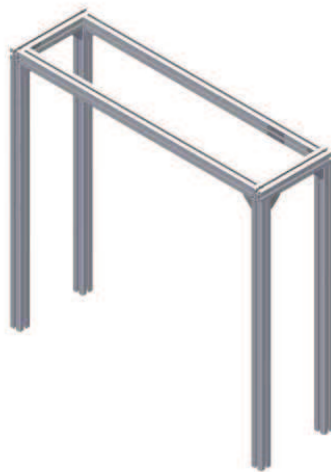
Při zapojení obou laserů bude možno snímat předmět o maximální šířce 563 mm. Těmito výpočty jsme zároveň provedli kontrolu, zdali bude laserovým paprskem u zamýšlených způsobů snímání vždy pokryt celý dopravníkový pás. Vzhledem k předešlým výpočtům a zohlednění dalších faktorů, jako jsou spojovací prvky, byla celková výška portálu stanovena na 730 mm.



Obr. 22 Vzdálenost při snímání jedním laserem

5.2.2 Konstrukce rámu

Rám bude sestaven ze 4 profilů o délce 700 mm, které budou sloužit jako stojné nohy portálu. Horní část rámu je tvořena dvěma profily o délce 700 mm a dvěma o délce 160 mm. Všechny části sestavy jsou k sobě připevněny přes fixační trojúhelníky, šrouby M6 a K-maticemi. Hmotnost rámu bez lineární osy bude 4,2 kg.



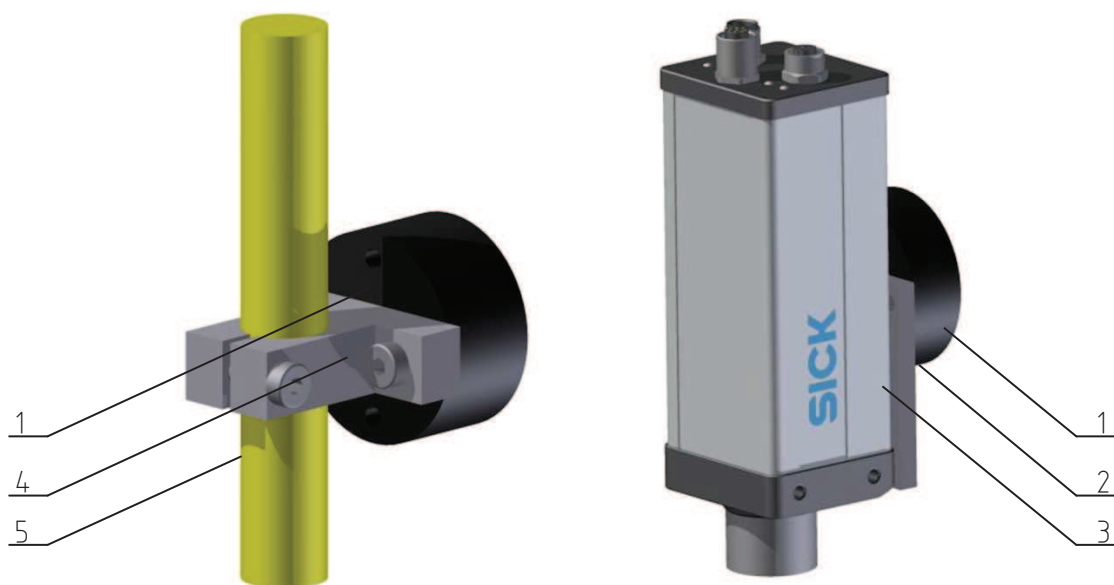
Obr. 23 Rám portálu

5.3 Snímací hlavy

Jak již bylo řečeno v předešlé kapitole, jedním z hlavních požadavků na připevnění snímacích prvků portálu je schopnost měnit jejich vzdálenost a úhel natočení vůči pásovému dopravníku nebo jiné pevné podložce, na které bude položen snímáný předmět.

5.3.1 Natáčení snímacích prvků

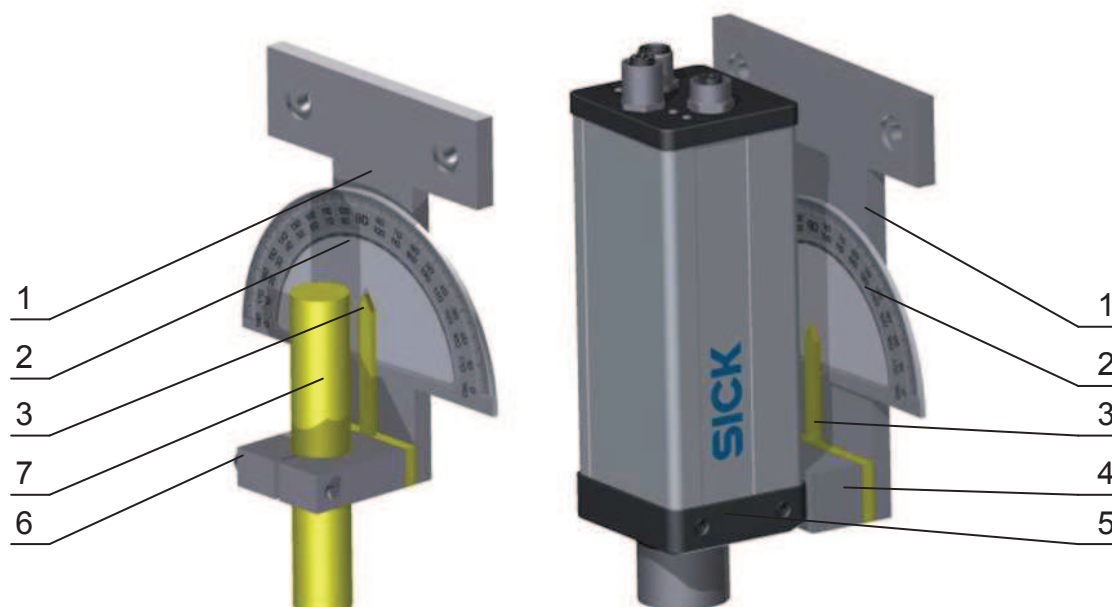
Natočení laserů a kamery lze realizovat pomocí rotačních plošin pro polohování snímačů. Možnost natočení o konkrétní počet úhlů je dána typem plošiny – změna úhlu je např. o 1°, 2° nebo 5° [22]. Kamera se připojí k plošině pomocí hliníkové desky, která je k plošině připevněna dvěma zápustnými šrouby M4 a ke kameře dvěma šrouby M5. Laser usazen v přírubě a s plošinou opět spojen dvěma šrouby M4.



Obr. 24 Varianta A natáčení laserů a kamery
1 – rotační plošina MISUMI, 2 – deska, 3 – kamera, 4 – příruba, 5 – laser

Tento způsob řešení nabízí snadnou přestavitelnost a přesnost. Vzhledem k ceně pohybující se v hodnotě kolem 3.000 Kč za jednu plošinu není tato varianta natáčení snímacích prvků cenově přijatelná.

Z tohoto důvodu bylo přistoupeno na zjednodušenou variantu natáčení snímacích prvků. Příruba laseru a deska kamery jsou připevněny k nosné desce přes šroub M8.

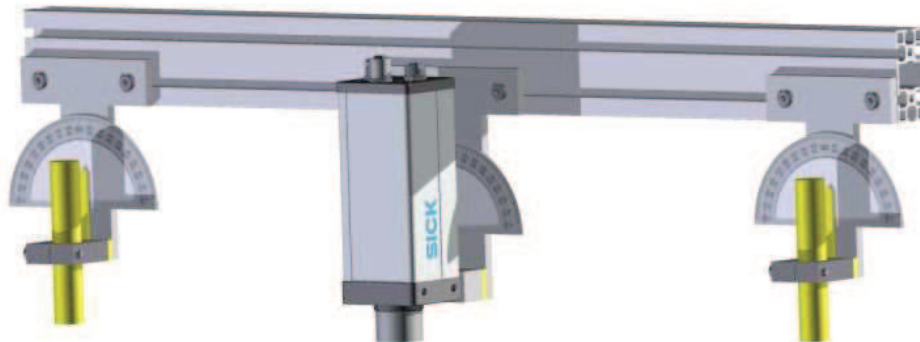


Obr. 25 Varianta B natáčení laserů a kamery

1 – nosná deska, 2 – úhloměr 3 – plastová ryska, 4 – deska kamery, 5 – kamera, 6 – příruba, 7 – laser

5.3.2 Posuv snímacích prvků

K realizaci posuvu hlav lze použít širokou škálu komerčně dostupných lineárních vedení. Vzhledem k tomu, že samotný posuv hlav nebude zapojen do přímého snímání, je příhodné navrhnout jednoduchý a přitom cenově výhodnější způsob posuvu.



Obr. 26 Snímací hlava

Z tohoto důvodu byl vybrán duralový profil 30x60, na kterém budou přes šrouby M5 připevněny nosné desky laserů a kamery, které budou mít tvarové vybrání pro lepší styk s drážkou profilu, po kterém se budou posouvat. Pro změnu polohy se povolí šrouby M5 a po nastavení požadované polohy se opět utáhnou. Drážka profilu, nad upevnění nosných desek bude sloužit pro odvod pracovních kabelů.

5.3.3 Odměřování posuvu a natočení laserů a kamery

Úhel natočení je jednoduše určen úhlovou stupnicí, která je nalepená na desce snímače, a ryskou, která se natáčí společně s kamerou nebo lasery, po povolení šroubu M8.

Pro určení vzdálenosti kamery a laserů slouží stupnice nalepená na hliníkovém profilu snímací hlavy. Takové řešení je dostačující vzhledem ke skutečnosti, že nepřesnosti v poloze laserů a kamery nemají vliv na přesnost samotného měření.

5.4 Lineární osa

5.4.1 Možnosti konstrukce lineární jednotky

Lineární jednotky se používají pro polohování, dopravu a vedení. Většinou bývají tyto komponenty vloženy do hliníkového profilu, který zajišťuje vysokou nosnost a tuhost při zachování dobré dynamiky. Výhodou lineárních jednotek je jejich vysoká přesnost polohování (až $\pm 0,01$ mm), dlouhá životnost, jednoduchost a bezúdržbovost. K pohonu elektrických lineárních jednotek se používají servomotory nebo krokové motory.

Polohování jednotek může být realizováno:

- ozubeným řemenem,
- kuličkovým šroubem,
- lineárním pohonem.

Lineární jednotky s ozubeným řemenem jsou velmi kompaktní a mají širokou škálu uplatnění. Jejich vedení se většinou skládá z lineárního vedení s oběhovými kuličkami nebo rolničkového vedení.

Lineární jednotky se šroubem se používají zejména pro menší zdvih a jsou dostupné v provedení s kuličkovým nebo trapézovým šroubem. Kuličkový šroub se používá pro přesnější nastavení polohy, trapézový pro ruční nastavení, kde není třeba vysoká přesnost polohy.

5.4.2 Konstrukce lineární osy

Vzhledem k zadání DP a vysokým cenám na trhu dostupných lineárních os, bylo rozhodnuto o konstrukci vlastní lineární osy, která by byla navržena přímo na míru zadání.

Bylo přistoupeno na návrh lineární posuvové osy s ozubeným řemenem. Použití kuličkového šroubu zajišťuje sice větší přesnost polohování, ale dané funkci osy, kdy dochází pouze k přejezdu snímací hlavy mezi dvěma krajními polohami, není zapotřebí velká přesnost.

5.4.3 Volba řemenu a řemenice

Součásti jsou voleny tak, aby mohlo docházet k ruční obsluze celé posuvné jednotky. Zároveň je brána v potaz možnost budoucího nahrazení ruční obsluhy lineární posuvové osy elektromotorem. Z tohoto důvodu je řemen a řemenice dimenzována pro synchronní servomotor AM3022-wEyz-000a firmy BECKHOFF.

K výpočtu, výběru řemene a řemenic byla použita metodika firmy MISUMI. [22]

Dočasná vzdálenost mezi hřídeli: $C_1 = 850 \text{ mm}$
 Průměr rozteče malé řemenice: $D_p = 48,51 \text{ mm}$
 Průměr rozteče velké řemenice: $d_p = 48,51 \text{ mm}$

Určení přibližné délky obvodu řemenu:

$$L_{p1} = 2 \cdot C_1 + \frac{\pi}{2} \cdot (D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4} \quad (5.12)$$

$$L_{p1} = 2 \cdot 850 \text{ mm} + \frac{\pi}{2} \cdot (48,51 \text{ mm} + 48,51 \text{ mm}) + \frac{(48,51 \text{ mm} - 48,51 \text{ mm})^2}{4}$$

$$L_{p1} = 1852 \text{ mm}$$

Skutečná délka řemenu L_p (nejbližší hodnota z tabulky):

$$L_p = 1857,38 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi hřídeli C:

$$b = 2 \cdot L_p - \pi \cdot (D_p + d_p) \quad (5.13)$$

$$b = 2 \cdot 1857,38 \text{ mm} - \pi \cdot (48,51 \text{ mm} + 48,51 \text{ mm})$$

$$b = 3410 \text{ mm}$$

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8 \cdot (D_p - d_p)^2}}{8} \quad (5.14)$$

$$C = \frac{3410 \text{ mm} + \sqrt{(3410 \text{ mm})^2 - 8 \cdot (48,51 \text{ mm} - 48,51 \text{ mm})^2}}{8}$$

$$C = 852,491 \text{ mm}$$

Určení šířky řemenu:

$$\begin{aligned} \text{úhel styku} \quad \theta &= 180^\circ - \frac{57,3 \cdot (D_p - d_p)}{C} \\ \theta &= 180^\circ - \frac{57,3 \cdot (48,51 \text{ mm} - 48,51 \text{ mm})}{852,491} \\ \theta &= 180^\circ \end{aligned} \quad (5.15)$$

$$\begin{aligned} \text{počet zubů řemenice:} \quad Z_d &= 16 \\ \text{počet styčných zubů:} \quad Z_m &= \frac{Z_d \cdot \theta}{360^\circ} \\ Z_m &= \frac{16 \cdot 180^\circ}{360^\circ} \end{aligned} \quad (5.16)$$

korelační koeficient styku K_m : $K_m = 1$
referenční šířka řemenice W_p : $W_p = 25,4 \text{ mm}$

navrhovaný výkon P_d : $P_d = 0,09 \text{ kW}$

referenční kapacita přenosu P_s : $P_s = 0,42$

$$\begin{aligned} \text{přibližná šířka řemene:} \quad B_w &= \frac{P_d \cdot W_p}{P_s \cdot K_m} \\ B_w &= 5,443 \text{ mm} \end{aligned} \quad (5.17)$$

Volba šířky řemenu: **$B = 19,1 \text{ mm}$**

Na základě výpočtu byl z nabídky firmy MISUMI vybrán rozvodový (ozubený) řemen TBN 731L 075 a dvě bezklínové řemenice MTPLA-E-15. Poloha bezklínových řemenic na hřídeli se jednoduše zajišťuje utažením jejich pouzdra na hřídeli a nevyžaduje osazení na hřídeli klínovou drážkou. Společně s těmito komponenty byla ještě vybrána kovová spojka TBCF – L075 – 6H – 5M, která bude sloužit ke spojení řemene s vozíkem lineární osy.

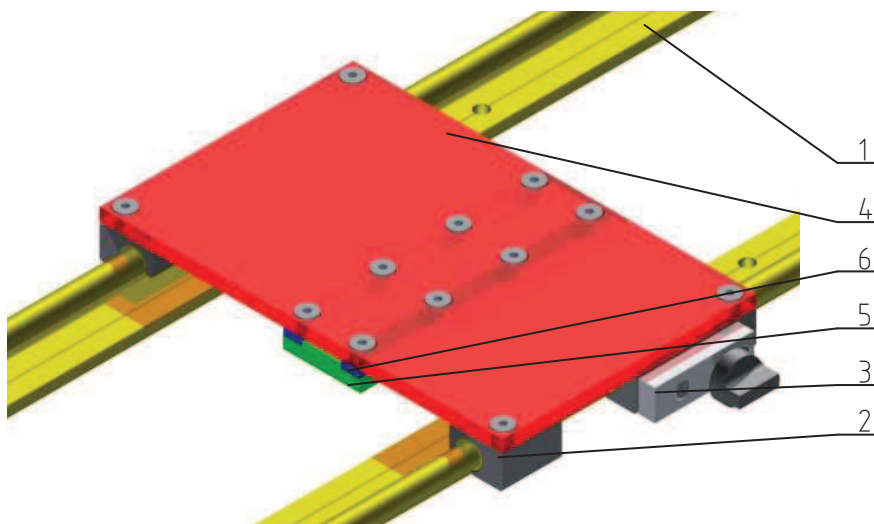
5.4.4 Vedení lineární posuvové osy

K vedení posuvové jednotky bylo vybráno kluzná lineární vedení drylin® W firmy IGUS. Konstrukce lineárního vedení umožňuje extrémně vysokou flexibilitu konstrukce a jednoduchou instalaci s použitím jednoduché nebo dvojité lišty. Tvrdý eloxovaný hliník se používá jako materiál kolejnic a poskytuje nejlepší parametry tření a opotřebení. Díky vyloučení lubrikace je systém mimořádně stálý vůči nečistotám. Mezi další výhody vedení patří modulárnost, snadná montáž a kompatibilita s hliníkovými profily. [23]

Vedení bude tvořeno dvěma vodícími kolejnicemi, proto musí být jedna strana konstruována jako plovoucí ložisko. Pro každé instalační umístění, ať vodorovné, svislé nebo boční, existuje vhodné řešení s pevným či plovoucím ložiskem. Tato instalační metoda zabraňuje pomalosti a zaklínění vedení odchylkami rovnoběžnosti

mezi vedeními. Plovoucí ložisko lze provést řízeným rozšířením vůle ve směru odhadované chyby rovnoběžnosti. Tudíž na jedné straně vzniká přídavný stupeň volnosti.

Výběr systému a výpočet jeho životnosti byl proveden s pomocí online aplikace dodavatele. [23]

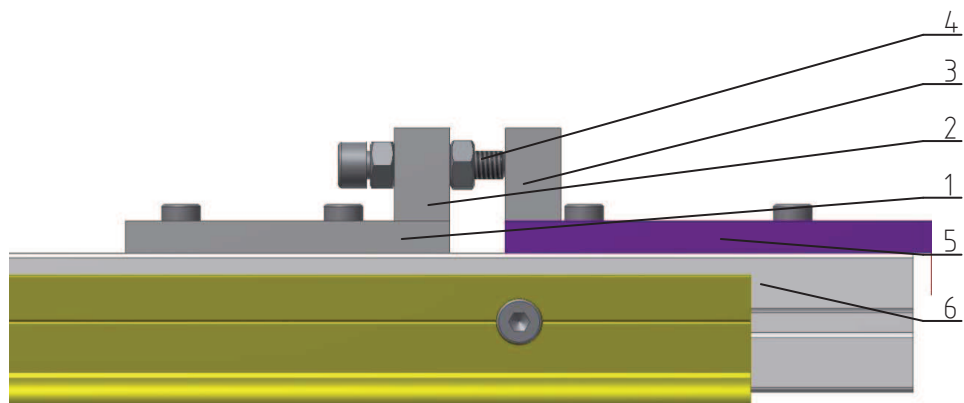


Obr. 27 Lineární vedení s vozíkem

Dle výpočtu byly vybrány dvě jednořadé kolejnice WS-10 (1) o délce 700 mm, na kterých jsou uloženy dvě kluzné jednotky WJ200UM-01-10 (2) na jedné kolejnici a kluzná jednotka WJ200UM (2) a kluzná jednotka s upínadlem (3). Upínadlo slouží k aretaci snímací hlavy v přesné pozici. Kluzné jednotky jsou spojeny dohromady deskou vozíku (4), ke kterému je přes šrouby připojena kovová spojka (5) a dvě destičky (6). Tento celek pak slouží k uchycení řemenu.

5.4.5 Napínání řemenu

K zabezpečení správné funkce řemenu je třeba řešit jeho napínání. A to vzhledem k tomu, že působením pružných a stalých deformací je způsoben jeho průhyb. Pokud by došlo k překročení určité meze prohnutí, mohlo by dojít k nadměrnému prokluzu řemene nebo dokonce k jeho sesmeknutí z řemenic. Jedním způsobem řešení, jak tomuto předejít, je zařadit do řemenového převodu do jedné z větví převodu napínací kladku. Tyto kladky jsou však především určeny pro aplikace s jedním směrem otáčení, což není případ konstruované osy. Proto je třeba přistoupit ke zvětšení osové vzdálenosti hřídelí pomocí napínacích šroubů.

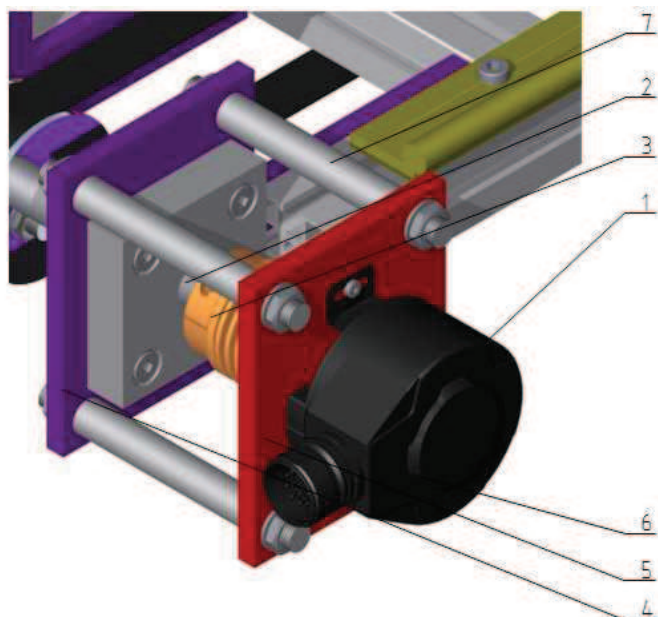


Obr. 28 Napínák

Napínák je tvořen destičkou (1), která je spojena pomocí dvojice šroubů M5 a matic k profilu 30x30 kostry lineární osy (6), k destičce je přišroubovaná dvěma zápustnými šrouby M5 patka (2). Patka je opatřena dírou se závitem pro šroub M6 (3). Šroub pak tlačí na rozměrově stejnou patku (4), která je připevněna k přírubě hřídele řemenice (5). Příruba je uchycena k profilu dvěma šrouby M5 a maticemi. Tento spoj je smontován tak, aby mohlo docházet k posuvu příruby ve směru drážky profilu a tím k změně osových vzdáleností řemenic.

5.4.6 Inkrementální snímač

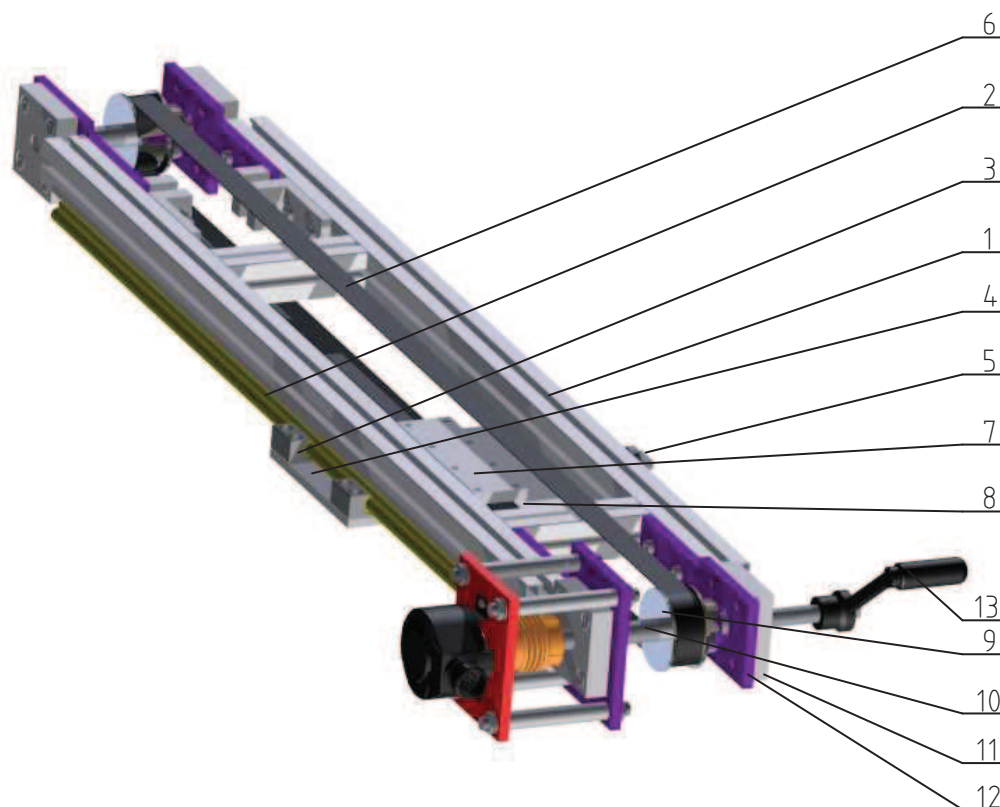
Stejně jako tomu bylo v případě pásového dopravníku (kapitola 5.1) je i u lineární osy, v případě že snímání bude prováděno s pomocí pohybu snímací hlavy, zapotřebí kameře dodávat informace o jejím pohybu. Proto je k ose také připevněn inkrementální snímač. Konstrukční řešení se odvíjí od řešení připojení snímače u dopravníku. Jelikož také požadavky na inkrementální snímač zůstaly stejné, byly vybrány totožné typy snímače a vlnovkové spojky.



Obr. 29 Montáž inkrementálního snímače k lineární ose

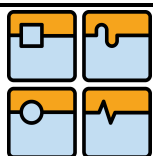
Snímač (1) je k hnací hřídel dopravníku (2) připojen přes hřídel prostřednictvím vlnovcové spojky (3). K dopravníku je připevněna příruba (4), na kterou je přišroubována hliníková deska (5). Ta je spojena s deskou snímače (6) čtyřmi tyčemi (7). Snímač je k desce připevněn dvěma šrouby M3.

5.4.7 Sestava lineární osy

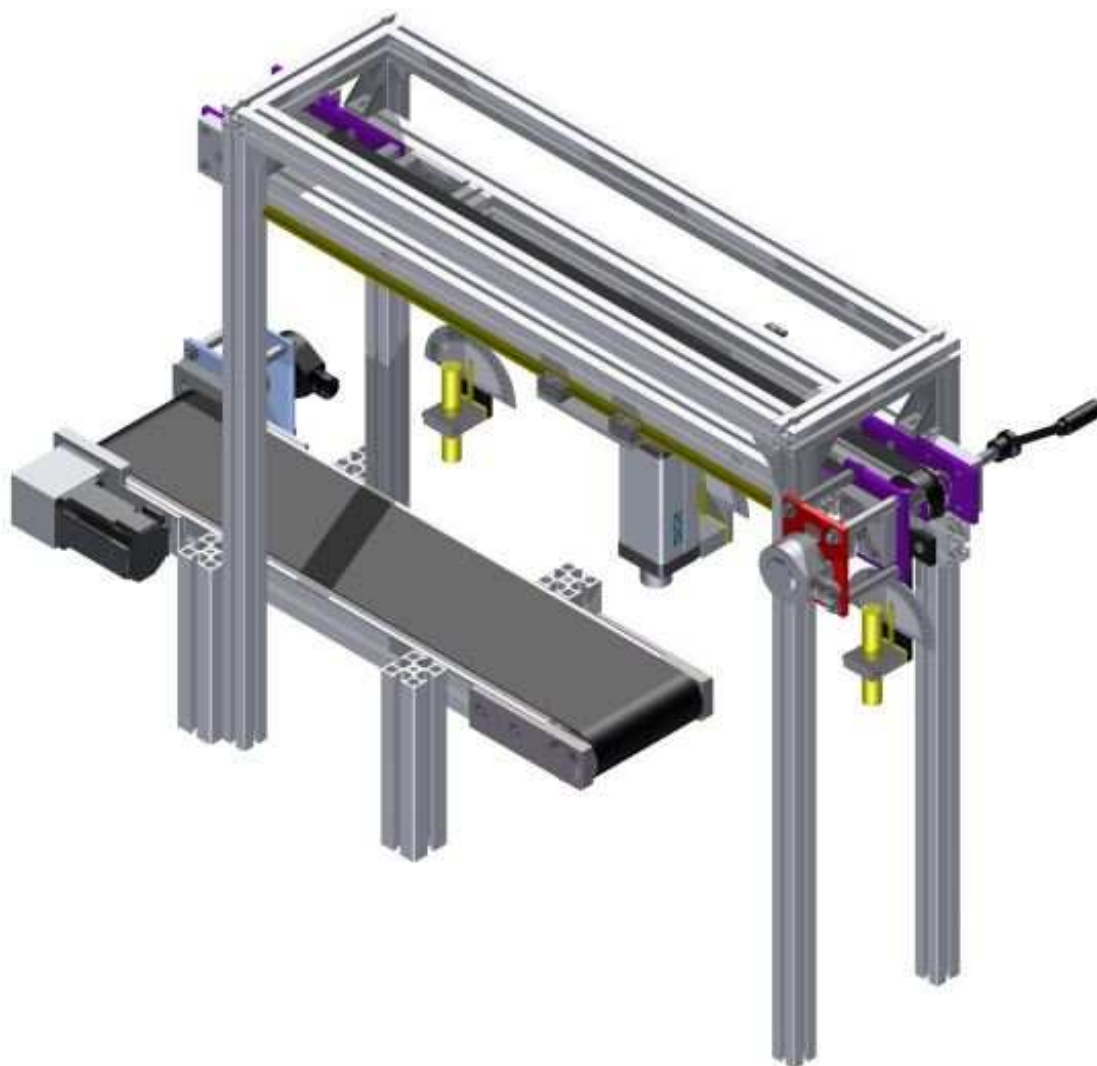


Obr. 30 Sestava lineární osy

Lineární osa je upevněna na rámu z hliníkových profilů 30x30 (1), který je tvořen dvěma profily o délce 770mm a dvěma o délce 100mm. Na profilech délky 770 jsou připevněny jednořadé kolejničky (2) od firmy IGUS. Po kolejničkách je veden vozík smontovaný z ložiskových pouzder (3), a hliníkové desky (4), aretace vozíku v dané poloze je zajištěna ručním upínadlem (5). Pohyb vozíku je realizován s pomocí rozvodového řemene (6), který je k desce vozíku (5) připevněn kovovou spojkou (7) a destičkami s otvory pro šrouby (8). Řemen je upevněn na dvou bezklínových řemenicích (9). Na řemenicích jsou nasazeny hřídele (10). Hřídele jsou uloženy v jednoduchých kuličkových ložiscích 6001 v domečku (11). Ložiska jsou v domečku zajištěny pojistným kroužkem pro díru ČSN 02 2931 - 28x1,2. Ložiskový domek, je zápusťnými šrouby M6 spojen s přírubou (12), která je šrouby M5 a maticemi připojena k rámu lineární osy. Ruční pohon osy je realizován klikou (13), která je připevněna na jedné z hřídelí, na které je z druhé strany připevněn přes spojku inkrementální snímač.



5.5 Sestava snímacího portálu s pásovým dopravníkem



Obr. 31 Sestava snímacího portálu s pásovým dopravníkem

6 Metodika 3D snímání

V této kapitole budou objasněny základní principy a postupy aplikací 3D snímání objektů. A to především proto, že na rozdíl od 2D snímání není 3D snímání v současnosti v průmyslové praxi zdaleka tak frekventované, je zapotřebí při samotném měření dodržet následující úkony.

6.1 Příprava měření

Laserová dioda sloužící k vytváření 3D obrazů má určitý rozsah vlnových délek a kamera IVC-2D má vestavěné filtry, které potlačují okolní světlo. Nicméně sluneční záření a také některé standardní světelné zdroje mohou obsahovat světlo se stejnou vlnovou délkou jako laser. Proto je vhodné snímací pracoviště odstínit od rušivých zdrojů světla, zejména pak slunečního.

6.2 Fáze snímání

Samotné měření lze sestavit z následujících tří fází:

6.2.1 Kalibrace

V této přípravné fázi, je zapotřebí nastavit plochu snímání, kterou může být pás dopravníku nebo jiná rovná černá plocha. Vzdálenost kamery od snímané plochy musí být taková, aby kamera nesnímala i jiné objekty či části pracoviště a nevznikal pak nesouvislý model snímaného předmětu.

Jelikož bude snímáný model sloužit k aplikaci neorientovaného uchopení robotem, je nutné provést kalibraci obrazu. Průmyslový robot potřebuje pro účely manipulace informace o objektu v milimetrech. Kamera však snímá x-osu v pixelech. Převod mezi pixely a milimetry není pevně daný. Velikost pixelu je totiž odvozena od celkového prostoru, který kamera snímá. Ke kalibraci je zapotřebí sejmutí obrazu kalibračního terče nebo objektu. Po zadání velikosti hrany čtverce program přepočítá pixely na milimetry a tyto informace uloží do vytvořeného data bloku spolu s informacemi o korekci obrazu. Tato korekce může být buď lineární, opravuje pouze perspektivní chyby obrazu, jako je např. nekolmost kamery na snímáný povrch. Souřadný systém kamery má počátek ve středu obrazu. Při spolupráci kamery a externího zařízení (robotu) jsou souřadnice vztaženy k externímu systému souřadnic. Uchopení objektu snímaného kamerou a jedoucí po dopravníkovém pásu, je v prostředí IVC Studia řešeno pomocí příkazu *Coordinate Alignment*.

6.2.2 Měření

Po dokončení kalibrace je zapotřebí spustit všechny systémy experimentálního pracoviště a jejich komunikaci. Předmět

6.2.3 Skládání snímků a vyhodnocení

V této fázi je programem kamery vyhodnocován zadaný úkol pomocí snímků profilů a výsledného 3D modelu. Program musí být přitom vhodně optimalizován, aby nedocházelo k prodlevám v zpracování úkolu a pomalé komunikaci s ostatními prvky pracoviště.

7 Návrh řízení experimentálního pracoviště

Princip funkce pracoviště a jeho jednotlivé prvky bylo popsáno v kapitole 4. V této kapitole bude podrobněji popsán návrh jejich vzájemné komunikace a výměna dat mezi nimi. Na Obr. 33 je pak uveden vývojový diagram uvažované aplikace.

7.1 Koncepte komunikační sítě

Pro vzájemnou komunikaci a datové výměně mezi prvky pracoviště je zapotřebí mezi nimi vytvořit komunikační síť. V tomto případě se jedná o komunikaci mezi kamerou IVC-2DM1122, PLC Beckhoff řady CX, robotem KUKA KR3, frekvenční měničem dopravníku inkrementálním snímačem.

Přestože je možná přímá komunikace mezi kamerou a robotem přes TCP/IP, není vhodné ji užít, jelikož by bylo nutné dokoupit příslušný rozšiřující software pro robot. Komunikaci proto třeba řešit přes mezičlánek, kterým je PLC.

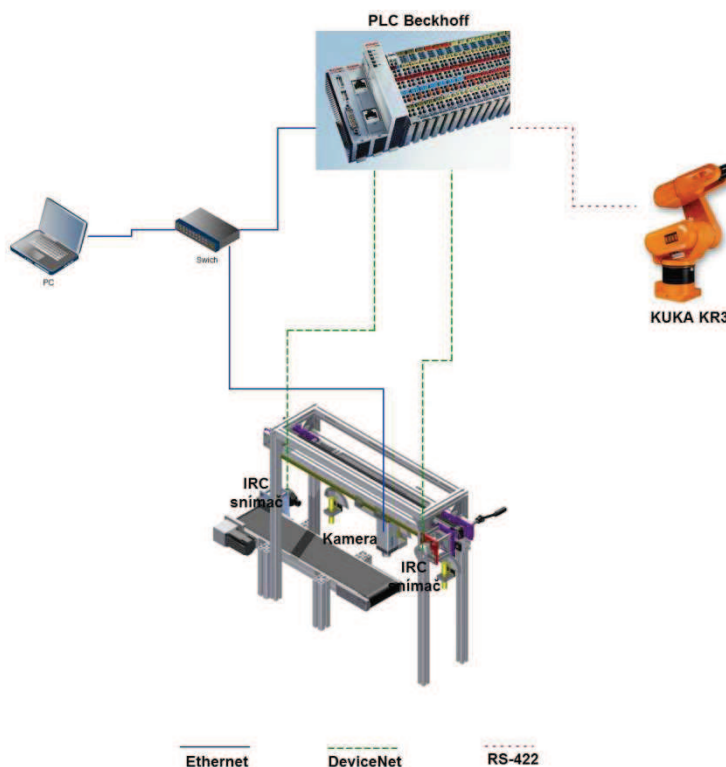
Kamera je vybavena komunikačními rozhraními Fast Ethernet, UDP/IP EtherNet/IP, RS-485 a OPC. Celé programování včetně komunikace s ostatními prvky probíhá pomocí programu IVC Studio.

PLC Beckhoff řady CX samozřejmě podporuje celou řadu typů komunikace a zaleží jen na přídavných modulech. Programování PLC pak probíhá v prostředí TwinCAT.

Robot Kuka KR3 se základní softwarovou výbavou podporuje komunikaci jen přes sériovou linku a DeviceNet.

Inkrementální snímač DFS60 je vybaven konektorem pro komunikaci dvojlinkou RS-422.

Do sítě je ještě připojen router a to proto, aby byl možné připojit osobní počítač. Tento počítač bude sloužit k naprogramování jednotlivých prvků sítě.

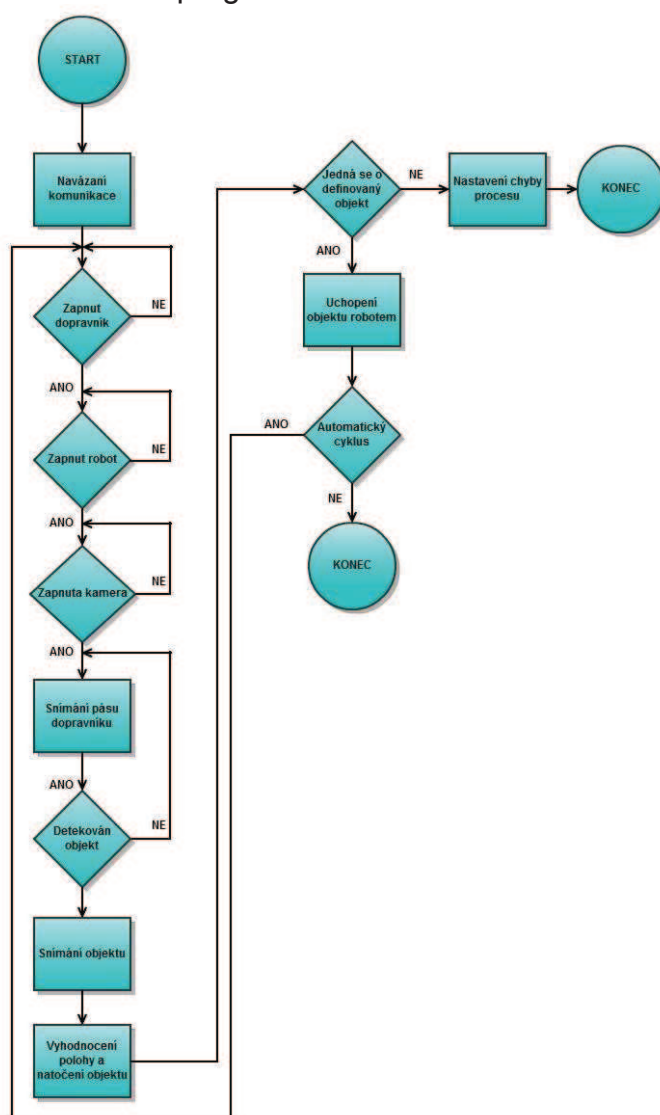


Obr. 32 Návrh komunikační sítě

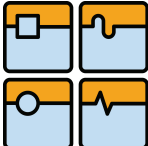
7.2 Koncepce programu PLC

Program začíná navázáním komunikace s kamerou. Poté následuje zapnutí dopravníku a nastavení jeho rychlosti přes modul PLC Beckhoff KL2552. Po přijetí pokynu se dopravník rozjede konstantní rychlostí. Zároveň je zapnut inkrementální snímač, aby byla zajištěna zpětná vazba o rychlosti dopravníku. Informace o rychlosti je přes PLC předána kameře.

Následně je dán pokyn ke snímání kamerou. Po ukončení snímání objektu a vyhodnocení jsou data odeslána z kamery do PLC. Informace o pozici a jeho rychlosti jsou předány robotu. Podprogramem je sledována pozice objektu a až se objekt nachází na stanovené pozici, vydá PLC pokyn k uchopení předmětu. Po manipulaci obdrží PLC signál. Tento cyklus lze celý opakovat, nebo jej kdykoliv zastavit pomocí fyzického nebo programového tlačítka.



Obr. 33 Vývojový diagram neorientovaného uchopení objektu

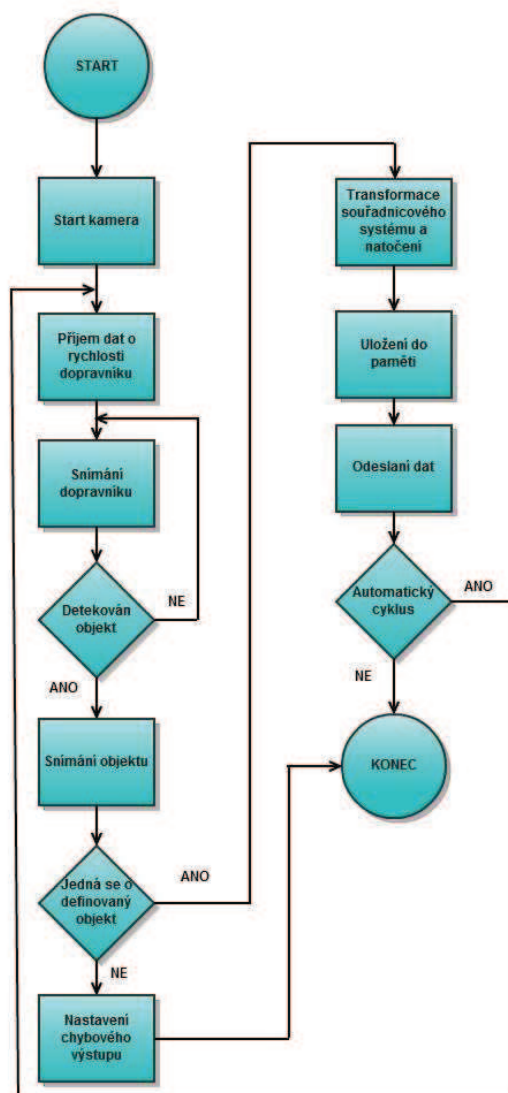
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

7.3 Koncepce programu kamery

Celý program kamery bude vytvořen v prostředí IVC Studia. Tento program pro kamery SICK obsahuje celou řadu předdefinovaných příkazů a nabízí celou řadu dostupných inspekčních cyklů, které slouží k lepšímu vyhodnocení snímaných informací.

Pro samotnou komunikaci s PLC slouží nástroj Open Ethernet Raw, který nastaví komunikaci na příslušný port.

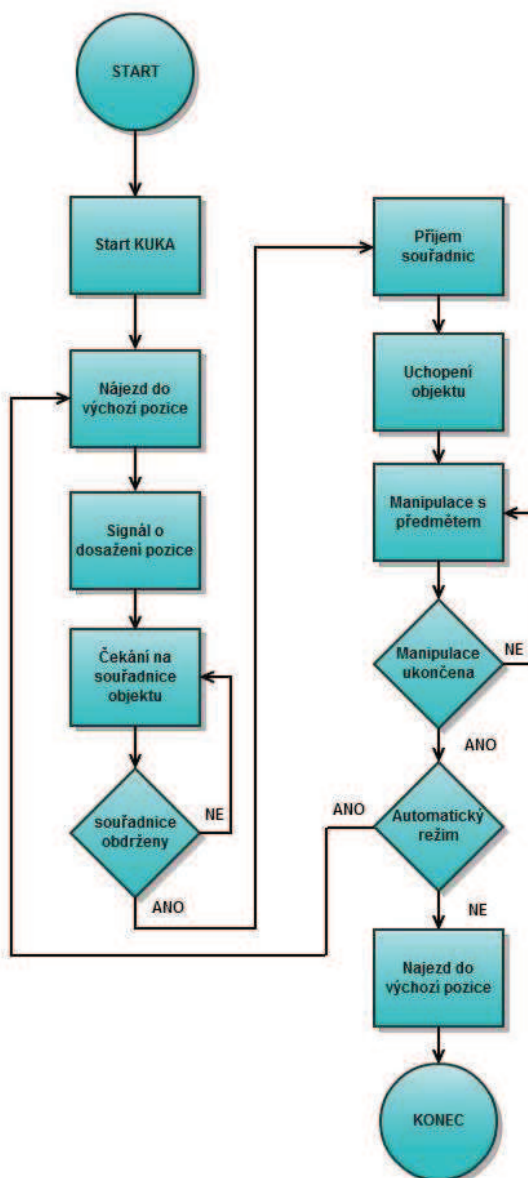
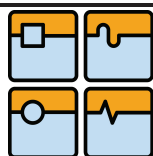
Vlastní program se bude sestávat z několika nástrojů. Na začátku programu bude proveden *Grab Setup*, zde bude provedena definice snímací plochy a počtu snímků, které budou za sekundu pořízeny. Následně dochází k snímání, který je proveden pomocí příkazu *Grab*. Poté musí dojít k definici ROI (Region Of Interest), který definuje oblasti, se kterými bude program dále pracovat. Nyní musí dojít k porovnání snímaného objektu s již definovaným 3D modelem a nalezení jejich shod. Způsobů, jak tohoto dosáhnout je předdefinováno celá řada a provedení tohoto porovnání se bude lišit objekt od objektu. Přičemž musí být brána v potaz jejich složitost a rozlišitelnost kamerou. Pokud by nedošlo ke shodě objektu s hledaným objektem, musí dojít k zastavení programu a upozornění obsluhy. Pokud bude nalezena shoda, musí dojít k rozeznání polohy a natočení objektu. Tyto informace pak musí být předány PLC.



Obr. 34 Vývojový diagram programu kamery

7.4 Koncepce programu robotu KUKA KR3

Začátek programu průmyslového robotu KUKA je podmíněn signálem z PLC. Po obdržení signálu robot koncovým efektozem přejde do výchozí pozice, která je definovaná tak, aby byla co nejbližší konci pásového dopravníku a nedocházelo tak při dalších pohybech robota k zbytečným časovým prodlevám. Po dosažení pozice odešle robot signál do PLC. Následně dále čeká na obdržení souřadnic a natočení objektu. Po obdržení příkazu od PLC dojde k uchopení objektu a jeho natočení a polohování, aby mohlo dojít k jeho umístění na předem definované místo. Po dokončení přesunu objektu odešle signál do PLC. Pokud je systém nastaven na automatický cyklus vrací se robot do výchozí pozice a celý program se opakuje. Pokud je zvolen jednocyklový režim, přejde jen do výchozí pozice.



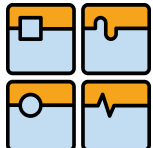
Obr. 35 Vývojový diagram programu robota

8 Cenová kalkulace

Cenová kalkulace je vztažena k nakoupeným dílům a materiálu. Nejsou zde uvedeny přesné kalkulace na výrobu jednotlivých konstrukčních dílů z nakoupeného materiálu a náklady. Jejich cena je orientačně odhadnuta a započítána do kalkulace. Díly, které jsou již ve vlastnictví ÚVSSR jsou v tabulce uvedeny (s poznámkou ÚVSSR), ale jejich cena již není do finální kalkulace zahrnuta. Souhrnná cena je tedy zkrácená, přesto udává určitou představu o nákladech na stavbu snímacího portálu.

Konstrukční celek	Množství	Měrná jednotka	Cena v Kč/MJ	Cena v Kč celkem	Poznámka
Pásový dopravník					
Hnací hřídel	1	ks	1 200	1 200	odhad
Příruba motoru	1	ks	300	300	
Deska dopravníku	1	ks	200	200	odhad
Deska snímače	1	ks	200	200	odhad
Tyč	4	ks	150	600	odhad
Spojka	1	ks	1800	1800	
Malá hřídel	1	ks			odhad
Inkrementální snímač	1	ks			ÚVSSR
Spojovací materiál			100	100	
Snímací portál					
Rám					
Hliníkové profily 30x30	4,52	m	330	1 492	
Fixační úhelníky 28x28	8	ks	140	960	
Spojovací materiál				100	
Snímací hlava					
Hliníkový profil	0,7	m	400	280	
Nosná deska	3	ks	300	900	odhad
Deska kamery	1	ks	300	300	odhad
Deska laseru	2	ks	250	500	odhad
Ryska	3	ks	50	150	odhad
Úhломěr	3	ks	6	18	
Laser	2	ks	8 503	17 006	
Smart kamera	1	ks			ÚVSSR
Spojovací materiál				100	
Lineární osa					
Řemen	1	ks	994	994	
Řemenice	2	ks	1248	2496	
Kovová spojka	1	ks	538	538	
Deska vozíku	1	ks	300	300	odhad
Deska řemenice	2	ks	300	300	odhad
Lineární vedení	1,4	m	1320	1848	
Ložisková pouzdra	3	ks	425	1275	
Ruční upínadlo	1	ks	540	540	
Hnací hřídel	1	ks	400	400	odhad
Hnaná hřídel	1	ks	370	370	odhad
Ložisko 6001	4	ks	10	40	
Pojistný kroužek	4	ks	12	48	
Ložiskový domek	4	ks	200	800	odhad

Příruba	4	ks	400	1600	odhad
Klika	1	ks	270	270	
Deska snímače	1	ks	200	200	odhad
Tyč	4	ks	170	680	odhad
Spojka	1	ks	1800	1800	
Inkrementální snímač	1	ks			ÚVSSR
Napínání řemenu				600	odhad
Spojovací materiál				300	
Cena celkem				41 605	

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 Závěr

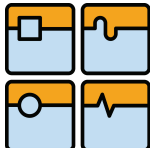
Úkolem této diplomové práce bylo teoreticky se seznámit s možnostmi průmyslového 3D snímání a navrhnout snímací portál.

V úvodní části, byly stanoveny cíle práce a byla vybrána metodika jejího vypracování. V teoretické části se zabývá důvody vzniku, základním popisem a principy systémů strojního vidění. Je zde podán popis snímačů obrazu, principy 3D snímání a výčet možností osvětlení snímaného objektu. Dále je popsán způsob zpracování 3D modelu podle nasnímaných dat.

V praktické části je nejdříve koncepčně navrženo rozložení a fungování celého experimentálního pracoviště. Poté byly nastíněny základní konstrukční uzly snímacího portálu. Snímané součásti se měly pohybovat po pásu dopravníku, další možností fungování portálu bylo v pohybu snímací hlavičky nad objektem, ze kterého byl vytvářen 3D model. Byly vybrány základní snímací prvky portálu – kamera a liniové lasery.

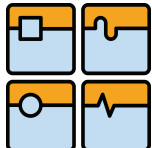
V konstrukční části byl proveden návrh změn u pásového dopravníku, které spočívaly v připojení inkrementálního snímače, který má informovat systém o rychlosti pásu, potažmo rychlosti snímaného objektu. Portál je tvořen rámem, jenž je vyrobený z hliníkových profilů. Na rámu je připevněna lineární osa vlastní konstrukce, která má zajišťovat pohyb snímací osy. Osa je tvořena ozubeným řemenem, který je pohaněn pomocí páky manuálně. Lineární vedení je zajištěno kolejkami a vozíkem s kluznými pojedy. Snímací hlava byla navržena tak, aby umožňovala snímání pod různými úhly a vzdálenostmi. Proto jsou kamera a lasery uchyceny přes šroub, kterým se mění jejich úhel od podložky a přes desky, které jsou připevněny k hliníkovému profilu tak, aby bylo možno měnit jejich vzájemnou vzdálenost.

V další kapitole je pak popsána metodika 3D snímání, která by měla být k dosažení požadovaných výstupů dodržena. Následně je navržena komunikace mezi jednotlivými systémy experimentálního pracoviště. Hlavním řídicím prvkem je PLC od firmy Beckhoff, na které jsou napojeny ostatní systémy, a zajišťuje jejich vzájemnou komunikaci. Jsou navrženy koncepce programů jednotlivých prvků systému. Na závěr práce je provedena orientační cenová kalkulace portálu.

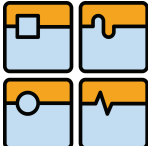
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam použité literatury

- [1] HAVLE, Otto. Strojové vidění I: Principy a charakteristika. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2004, č. 05, s. 4. ISSN 1210-9592. Dostupné z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36550.pdf>.
- [2] Strojové vidění na cestě do průmyslové praxe. *Automa: časopis pro automatizační techniku*. Praha: FCC Public, 2004, č. 05. ISSN 1210-9592. Dostupné z WWW: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32338.
- [3] HAVLE, Otto. Smart kamery pro strojové vidění. *Automatizace*. 2008, roč. 51, č. 5. Dostupné z: <http://automatizace.cz/article.php?a=1588>.
- [4] Simatic Machine Vision: Strojové vidění. In: *Siemens.com* [online]. 2007 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z WWW: [http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/48019_tia\\$machine\\$vision\\$general\\$fcc.pdf](http://www.siemens.cz/siemjetstorage/files/48019_tia$machine$vision$general$fcc.pdf).
- [5] Na co strojové vidění. FCC PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY S.R.O. *Www.strojove-videni.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z WWW: <http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/na-co-strojove-videni.htm&id=19>.
- [6] Jak vypadá systém SV. FCC PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY S.R.O. *Www.strojove-videni.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z WWW: <http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/jak-vypada-system-strojoveho-videni.htm&id=13>.
- [7] FCC PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY S.R.O. *Www.strojove-videni.cz/* [online]. 2008 [cit. 2012-04-12]. Dostupné z WWW: <http://www.strojove-videni.cz/>.
- [8] Kamerový senzor Inspector P30. SICK. *Www.sick.com* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: http://www.sick.com/cz/cs-cs/home/products/product_news/vision/Pages/Inspector_P30.aspx.
- [9] KROUPA, Miloslav. Senzory Siemens v průmyslové výrobě. *Automatizace*. 2008, roč. 51, č. 5. Dostupné z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=2231>.
- [10] JÄHNE, Bernd, Horst HAUSSECKER a Peter GEISLER. *Handbook of computer vision and applications: Volume I*. San Diego: Academic Press, c1999, 3 v. in container. ISBN 012379773X3.
- [11] Principy a málo známé vlastnosti CCD snímačů obrazu. In: VOJÁČEK, Antonín. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART235-principy-a-malo-zname-vlastnosti-ccd-snimacu-obrazu.html>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 58
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [12] CCD vs. CMOS. In: *Teledyne Dalsa* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <http://www.teledynedalsa.com/corp/markets/ccd_vs_cmos.aspx>.
- [13] TELEDYNE DALSA. *Teledyne DALSA* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.teledynedalsa.com>>.
- [14] 3D merení MAPV 2009. In: *Www.uamt.feec.vutbr.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.uamt.feec.vutbr.cz/vision/TEACHING/MAPV/08%20-%203D%20mereni.pdf>>.
- [15] Osvětlení ve strojovém vidění. FCC PRŮMYSLOVÉ SYSTÉMY S.R.O. /*www.strojove-videni.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WWW: <http://www.strojove-videni.cz/default.asp?inc=inc/tp_osvetleni.htm&id=23>.
- [16] ŠNAJDÁREK, L. *Metody 3D laserového skenování obrobků ve výrobním procesu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 52 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslav Opl
- [17] IVC-3D Operating Instructions. In: *Sick.com* [online]. 2010 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z WW: <<https://www.mysick.com/saqqara/im0021604.pdf>>.
- [18] Mysick.com [online]. 2012 [cit. 2011-05-15]. Vyhledávač produktů. Dostupné z WWW: <<https://mysick.com/eCat.aspx?go=Finder&Cat=Row&At=Fa&Cult=Czech&Category=Produktfinder>>.
- [19] High-Performance Structured Light Laser Diode Modules. In: *Edmund Optics* [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z WW: <<http://www.edmundoptics.com/lasers/laser-diode-modules/continuous-wave-laser-diode-modules/high-performance-structured-light-laser-diode-modules/1433?dc&PageNum=1#products>>.
- [20] ALUTEC K&K. *Online katalog Alutec K&K* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.aluteckk.cz/katalog/katalog.php>>.
- [21] Vlnovcové spojky. T.E.A. TECHNIK. *T.E.A. Technik* [online]. 2010 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z WWW: <http://www.teatechnik.cz/vlnovcove/>
- [22] MISUMI. *MISUMI Europa, Mechanické komponenty a normalizované součásti pro automatizaci montáže* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://cz.misumi-ec.com/>>.
- [23] DryLin® W: Lineární průvodce pro téměř neomezenou volnost konstrukce. IGUS. *Igus.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.igus.cz/wpck/default.aspx?pagenr=1994>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

[24] DRÁBEK, J. Sběrnice používané v oblasti programovatelných automatů. Brno, 2008. 71 s.

[25] BECKHOFF [online]. 2012 [cit. 2012-04-28]. Documentation. Dostupné z WWW: <<http://www.beckhoff.com/>>.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol veličiny	Význam veličiny	jednotka
B	Šířka řemenu	[mm]
Bw	přibližná šířka řemene	[mm]
C	Vzdálenost mezi hřídeli	[mm]
C'	Statická únosnost	[N]
Co	Dynamická únosnost	[N]
C1	Dočasná vzdálenost mezi hřídeli	[mm]
Dp	Průměr rozteče malé hřídele	[mm]
dp	Průměr rozteče velké řemenice	[mm]
f	Ohnisková vzdálenost	[mm]
Km	korelační koeficient styku	[-]
Lp1	Přibližné délky obvodu řemenu	[mm]
Lp	Skutečná délka řemenu	[mm]
Pd	Navrhovaný výkon	[kW]
Ps	referenční kapacita přenosu	[-]
Wp	Referenční šířka řemenice	[mm]
Zd	Počet zubů řemenice	[-]
Zm	Počet styčných zubů řemenice	[-]
θ	Úhel styku	[°]
2d	Vzdálenost mezi optickými osami snímačů	[mm]

Tabulka 3 Seznam použitých symbolů

Symbol	Význam
A/D	Analog/Digital
CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
FF	Full Frame
FT	Frame Transfer
LED	Light Emitting Diode
MJ	Měrná jednotka
NPN	Typ bipolárního přechodu
OPC	Object linking and embedding for Process Automation
PC	Personal Computer
PMD	Photonic Mixer Device
PLC	Programmable Logic Controller
PNP	Typ bipolárního přechodu
px	Pixel
RAM	Random Access Memory
RS232	Rozhraní pro sériovou komunikaci
RS422	Rozhraní pro sériovou komunikaci
RS485	Rozhraní pro sériovou komunikaci
TOF	Time of Flight
USB	Universal Serial Bus

Tabulka 4 Seznam použitých zkratek

Seznam obrázků

Obr. 1 Blokové schéma pracoviště se systémem strojového vidění.....	18
Obr. 2 Kamerový senzor Inspector P30 firmy SICK	19
Obr. 3 Inteligentní kamera VS720 Siemens	19
Obr. 4 Kodak Full Frame (FF) CCD	20
Obr. 5 FF režim převodu náboje na napěťový signál	21
Obr. 6 CMOS snímač.....	22
Obr. 7 Metody měření vzdálenosti	22
Obr. 8 Schéma stereometrického snímku	23
Obr. 9 Aktivní triangulace.....	24
Obr. 10 Snímání profilu součásti	27
Obr. 11 Schéma experimentálního pracoviště	28
Obr. 12 Konceptuální návrh portálu pro 3D vidění	29
Obr. 13 Laserová dioda s projekčními hlavami	31
Obr. 14 Pásový dopravník - stávající	32
Obr. 15 Inkrementální snímač DFS60.....	33
Obr. 16 Vlnovcová spojka 563,34	33
Obr. 17 Hnací hřídel pásu	34
Obr. 18 Montáž snímače a spojky.....	35
Obr. 19 Pásový dopravník - změny	35
Obr. 20 Úhel vyzařování laseru.....	36
Obr. 21 Vzdálenost při snímání jedním laserem	37
Obr. 22 Vzdálenost při snímání jedním laserem	38
Obr. 23 Rám portálu.....	39
Obr. 24 Varianta A natáčení laserů a kamery	39
Obr. 25 Varianta B natáčení laserů a kamery	40
Obr. 26 Snímací hlava	41
Obr. 27 Lineární vedení s vozíkem	44
Obr. 28 Napínák.....	45
Obr. 29 Montáž inkrementálního snímače k lineární ose	45
Obr. 30 Sestava lineární osy	46
Obr. 31 Sestava snímacího portálu s pásovým dopravníkem	47
Obr. 32 Návrh komunikační sítě.....	49
Obr. 33 Vývojový diagram neorientovaného uchopení objektu	50
Obr. 34 Vývojový diagram programu kamery	52
Obr. 35 Vývojový diagram programu robota	53

Seznam tabulek

Tabulka 1 Charakteristiky IRC snímače DFS60 [18]	33
Tabulka 2 Charakteristika vlnovcové spojky 563,34 [21].....	34
Tabulka 3 Seznam použitých symbolů.....	60
Tabulka 4 Seznam použitých zkratk.....	60

Seznam příloh

Příloha 1 – Výpočet životnosti lineárního vedení

Seznam tištěných příloh

0-UVSSR-00/00	Snímací portál	Sestava
1-UVSSR-01/00	Lineární osa	Sestava
2-UVSSR-03/00	Snímací hlava	Sestava
K-4-UVSSR-01/00	Lineární osa	Kusovník
K-4-UVSSR-03/00	Snímací hlava	Kusovník

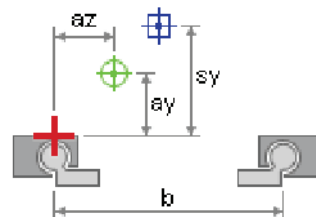
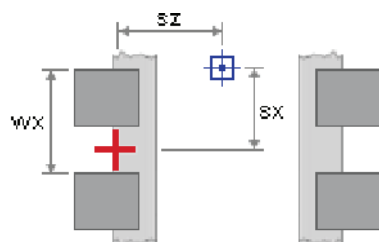
Seznam elektornických příloh

Katalogy

KT1_ALUTEC_Profil	profily Alutec K&K s.r.o.
KT2_MISUMI_řemen_řemenice_k-spojka	katalog MISUMU
KT3_SICK_inkrementální snímač	katalogový list IRC snímače
KT4_IGUS_Lineární vedení	katalogový list lin. vedení

Výkresy

0-UVSSR-00-00	Snímací portál	Sestava
1-UVSSR-01-00	Lineární osa	Sestava
2-UVSSR-03-00	Snímací hlava	Sestava
K-4-UVSSR-01-00	Lineární osa	Kusovník
K-4-UVSSR-03- 00	Snímací hlava	Kusovník
3-UVSSR-01-01	deska vozíku	Součást
3-UVSSR-01-03	Příruba 1	Součást
3-UVSSR-01-04	Příruba 2	Součást
3-UVSSR-01-05	Příruba 3	Součást
3-UVSSR-01-06	Příruba 4	Součást
3-UVSSR-02-01	Hnací hřídel	Součást
3-UVSSR-03-01	Deska kamery	Součást
3-UVSSR-03-01	Deska laseru	Součást
4-UVSSR-01-01	Deska	Součást
4-UVSSR-01-07	Domek	Součást
4-UVSSR-01-08	Napínák deska	Součást
4-UVSSR-01-09	Napínák patka	Součást
4-UVSSR-01-10	Napínák	Součást
4-UVSSR-01-11	Deska snímače	Součást
4-UVSSR-01-12	Tyč 2	Součást
4-UVSSR-02-02	Hřídel	Součást
4-UVSSR-02-03	Deska dopravníku	Součást
4-UVSSR-02-04	Deska snímače	Součást
4-UVSSR-02-05	Tyč	Součást
4-UVSSR-03-03	Patka kamery	Součást
4-UVSSR-03-04	Příruba	Součást



Rozsah

Systém	2 x WS-10,700 2 x WJ200UM-01-10 2 x WJ200UM-01-10 LL	
Kolejnicový materiál	Tvrdě eloxovaný hliník	
Vzdálenost kolejnic (b)	164	mm
Vzdálenost ložisek (wx)	95	mm
Způsob montáže	obrácený	
Pohon	Jeden pohon s pevným/plovoucím ložiskem	
Pevná poloha ložiska	Na hnacím konci	
Souřadnice pohonu (ay)	10	mm
Souřadnice pohonu (az)	75	mm
Souřadnice těžiště (sx)	0	mm
Souřadnice těžiště (sy)	0	mm
Souřadnice těžiště (sz)	75	mm
Silový účinek hmotnosti (Fs)	80	N
zrychlení (a)	0,5	m/s ²
Uražená vzdálenost	5000	km
Délka kolejnic	700	mm

Výsledek

Jízdní vlastnosti	OK	
Nahrát	OK	
Otěr	OK	
Opotřebení ve směru y	0,47	mm
Opotřebení ve směru z	0,21	mm
max. povolená dlouhodobá rychlost	3,16	m/s
vyžadovaná minimální síla pohonu	23	N
povolená teplota při skladování	90	°C
Vypočítané max. zatížení ve směru y	24	N
Bezpečnostní faktor ve směru y	25,23	
Vypočítané max. zatížení ve směru z	15	N
Bezpečnostní faktor ve směru z	40,88	
Výška v těžišti (nový stav)	0,2	mm
Výška v těžišti (konec činnosti)	0,9	mm

Výhrada

Podrobnosti v tomto programu a zejména data poskytnutá expertem jsou založeny na našich současných poznatcích o popisovaných produktech. Právně závaznou záruku určitých vlastností nebo vhodnosti pro určitou aplikaci nelze odvodit. Firma igus® nepřebírá žádné ručení za škody vyplývající z použití produktů.

Vzhledem k trvalému technickému vývoji si vyhrazujeme právo kdykoli provést technické změny a vylepšení svých produktů.